

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Асинхронный электропривод подъемной лебедки мостового крана грузоподъемностью 20 тонн.	

УДК 62-83-523:621.864

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Кукушкин Николай Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

_____ Ю.Н. Дементьев
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Кукушкину Николаю Николаевичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод подъемной лебедки мостового крана грузоподъемностью 20 тонн.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение.
Перечень графического материала	Функциональная схема и имитационная модель электропривода Динамические характеристики электропривода

	Статические характеристики электродвигателя и электропривода Технико-экономические показатели
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Закключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г..
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В	К.Т.Н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Кукушкин Николай Николаевич		05.04.2018г.

Техническое задание

Разработать регулируемый электропривод мостового крана грузоподъемностью 20 тонн, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – повторно-кратковременный.
2. Электропривод реверсивный, диапазон регулирования $D = 1:20$.
3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.
4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с перспективой интеграции в систему управления более высокого уровня.
5. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP21.
6. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°C и относительной влажности не более 80% , степень защиты не ниже IP21.
7. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.
8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\% \text{ В}$, $50 \pm 1 \text{ Гц}$.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 104 страницу, 30 рисунка, 25 таблиц, 26 используемых источников, 2 листа приложения

Мостовой кран, асинхронный частотно – регулируемый электропривод, преобразователь частоты, система автоматического управления, статические и динамические характеристики.

Объектом модернизации является электропривод мостового крана грузоподъемностью 20 тонн.

Цель работы - разработка частотно регулируемого электропривода в соответствии с требованиями технического задания и исследование его работы методом моделирования на ЭВМ.

В ходе работы был разработан электропривод, удовлетворяющий условиям технического задания.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, статическом редакторе Microsoft Excel 2010, графическом редакторе Visio 2010 SP1. Расчёты производились с помощью пакета прикладных программ MathCAD 2010 Professional Rus. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ MatLab 8.1.

Содержание

Введение	8
1 Технологическая часть	10
1.1 Описание промышленной установки и анализ технологического процесса	10
1.2 Анализ кинематической схемы, определение параметров и проектирование расчетной схемы механической части электропривода	17
2 Выбор системы электропривода и автоматизация промышленной установки	19
2.1 Предъявляемые требования к автоматизированному электроприводу и системе автоматизации	21
2.2 Определение возможных вариантов и выбор рациональной системы электропривода	23
3 Выбор элементов силового канала электропривода и расчет параметров	24
3.1 Выбор электродвигателя и расчет параметров	24
3.1.1 Расчетные параметры электродвигателя	27
3.1.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя по каталожным данным	28
3.1.3 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя	33
3.2 Механическая система электропривода подъема	37
3.2.1 Параметры элементов механической системы привода	37
3.3 Определение заданной области работы	39
3.4 Выбор преобразователя частоты	41
3.4.1 Параметры преобразователя частоты	42
4 Разработка и исследование систем электропривода с векторным управлением	44
4.1 Разработка имитационной модели регулируемого электропривода с векторным управлением	44
4.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода мостового крана с векторным управлением	57

4.2.1 Программа исследований электропривода	57
4.3 Исходные параметры настройки САР РЭП	58
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	70
5.1. Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	73
5.2. Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	77
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	79
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	80
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	83
6 Экономическая часть	84
6.1 Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода.	84
6.2 Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)	86
6.3 Планирование проектных работ	88
6.4 Расчет сметы затрат на проектирование.	90
6.6 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	94
Заключение	98
Список использованных источников	100
Приложение	102

ВВЕДЕНИЕ

Крановое оборудование является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей народного хозяйства. Расширение отрасли машиностроения, занимающейся производством грузоподъемных машин, является важным направлением развития народного хозяйства для решения задачи всемерного сокращения и ликвидации тяжелого ручного труда.

В настоящее время грузоподъемные машины выпускаются большим числом заводов во многих отраслях народного хозяйства и эти машины используются практически во всех сферах народного хозяйства: при добыче полезных ископаемых, в металлургии, машиностроении, строительстве, на транспорте и др. Подавляющее большинство грузоподъемных машин, изготавливаемых отечественной промышленностью, имеет электрический привод основных рабочих механизмов и поэтому эффективность действия этих машин в значительной степени зависит от качественных показателей используемого кранового электрооборудования.

Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно-кратковременным режимом работы при большой частоте включений, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения. В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своем составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, командоаппаратов, кнопочных постов, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, пускотормозных резисторов и ряд других аппаратов, комплектующих различные крановые электроприводы.

В крановом электроприводе начали довольно широко применяться различные системы тиристорного регулирования и дистанционного управления по радиоканалу или одному проводу.

Для обеспечения механизированной транспортировки ферромагнитных материалов промышленностью изготавливается две серии грузоподъемных электромагнитов. Производство кранового электрооборудования стало одной из важнейших отраслей электротехнической промышленности.

Для проведения практических инженерных расчетов в настоящее время созданы и внедрены в практику новые прогрессивные и доступные для широкого круга работников методы проектирования большинства крановых электроприводов, отражающие современные направления оптимизации систем и их технико-экономического обоснования.

Среди направлений повышения эффективности использования кранового оборудования можно выделить два основных: снижение энергопотребления и повышение надежности. Использование частотно-регулируемого электропривода на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором позволяет решить обе задачи достаточно невысокими затратами и является на сегодняшний день наиболее эффективным способом модернизации кранового оборудования. Преимуществами применения частотно-регулируемого электропривода по сравнению с другими схемами управления двигателями являются:

- повышение качества и значительная рационализация системы управления;
- автоматическое передвижение груза по заданной программе, т.е. введение крана в систему АСУ ТП;
- возможность согласованного действия нескольких кранов по заданной программе, например при монтажно-сборочных работах;
- увеличение надежности и срока службы как самого привода, так и всех его механизмов;

- упрощение процесса обслуживания;
- экономия электроэнергии;
- создание предпосылок для дальнейшего совершенствования как самих кранов, так и систем управления: введение дистанционного управления, ликвидация приборов контроля грузоподъемности, снижение передаточного отношения редуктора, ликвидация полиспастов и т.д.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и исследование электропривода механизма подъема мостового крана грузоподъемностью 20 т.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 ОПИСАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Мостовой кран - кран мостового типа, мост которого опирается на надземный рельсовый крановый путь, а грузозахватный орган подвешен к грузовой тележке или электротали, перемещающейся по мосту. Мостовые краны общего назначения изготавливают грузоподъемностью до 320т, специального назначения - до 630 т, пролёты - 60 м, высота подъёма - 50 м.

Краны общего назначения используют при монтаже оборудования, производстве ремонтных работ, для технологических работ в цехах основного производства, на складах, при перегрузочных работах.

Металлоконструкция мостового крана состоит из двух основных частей: моста и тележки. Мост перекрывает рабочий пролёт производственного помещения или склада. Он состоит из двух главных и двух концевых балок. Через ходовые колёса механизма передвижения мост опирается на надземные крановые рельсы. Последние закреплены на подкрановых балках, смонтированных на консолях колонн здания или крановой эстакады. Колёса приводятся через передаточный механизм одним или двумя электродвигателями. Ходовые колёса кранов выполняют

двухребордными либо безребордными с горизонтальными направляющими роликами. На главных балках закреплены рельсы, по которым перемещается тележка с помощью своего привода. На её раме размещены один или два механизма подъёма груза, каждый из которых состоит из крюковой подвески, канатного полиспаста, барабана, передаточного механизма, тормоза и электродвигателя. Механизмами крана управляют из кабины, подвешенной к металлоконструкции моста, что позволяет иметь наилучший обзор и безопасность работы, а при необходимости - на тележке (имеет возможность автономно перемещаться вдоль пролёта крана).

При работе крана направления движения крана, тележки и крюка постоянно чередуются. Работа механизма подъёма состоит из периодов подъёма и опускания груза и периодов подъёма и опускания пустого крюка. Для увеличения производительности крана используют совмещение операций, например одновременное передвижение крана и тележки. Во время навешивания груза на крюк и освобождения крюка двигатель отключён и механизм подъёма не работает.

По назначению разнообразные грузоподъемные машины можно объединить в три группы:

- Универсальные грузоподъемные машины - краны, лебедки, тали, служащие для подъема и перемещения различных грузов при помощи крюкового подвеса на грузовом тросе;

- Грузоподъемные машины для выполнения определенных технологических операций в промышленности, на транспорте и в строительстве;

- Краны для выполнения строительных, монтажных и ремонтных работ, связанных с перемещением машинного оборудования.

В свою очередь, по условиям работы грузоподъемные машины могут быть условно разделены на следующие группы:

машины универсального назначения, используемые для работы в помещениях при повторно-кратковременном режиме и средней продолжительности работы до 16 ч в сутки;

машины универсального назначения, используемые для работы в помещениях при повторно-кратковременном режиме и средней продолжительности работы от 8 до 24 ч в сутки;

машины для выполнения определенных технологических операций, используемые как в помещениях, так и на открытом воздухе при повторно-кратковременном режиме и продолжительностью работы до 24 ч в сутки;

машины для выполнения разовых и эпизодических грузоподъемных операций, используемые в кратковременных и в повторно-кратковременных режимах с общим годовым числом часов работы не более 500.

Универсальные грузоподъемные машины изготавливаются с учетом различных условий использования по нагрузке и времени работы, интенсивности проведения операций, степени ответственности операций и в связи с этим могут быть дополнительно отнесены к нескольким усредненным категориям использования.

Механизмы для выполнения определенных технологических операций, а также механизмы для эпизодической работы имеют вполне определенные условия использования соответственно их назначению. С целью систематизации всего многообразия режимов работы грузоподъемных машин Госгортехнадзор установил следующие категории режимов работы механизмов с машинным приводом: легкий - Л; средний - С; тяжелый - Т; весьма тяжелый - ВТ.

Ряд кранов, предназначенных для технологических комплексов, в последнее время проектируется для использования при более сложных режимах работы электропривода по сравнению с режимом ВТ, определяемым действующей классификацией Госгортехнадзора. Этот режим характеризуется продолжительностью включения до ПВ=100% при числе включений в час 600 и выше. Для этих случаев вводится новая категория

режима: особо тяжелый - ОТ. В настоящее время существует стандарт, предусматривающий пять категорий режимов, включая режим ОТ.

Скорости перемещения грузов определяют производительность и мощность механизмов и выбираются с учетом эффективности выполнения грузоподъемных операций, т.е. получения необходимого времени операции при наименьшей первоначальной стоимости механизмов крана. Выбор оптимальной скорости является важной задачей, необходимое решение которой может быть найдено только на основе учета факторов производительности, затрат энергии, возможности и эффективности регулирования скорости, а также технико-экономической оценки системы регулирования.

За последние годы были проведены исследования, связанные с оптимизацией скоростных параметров быстроходных грузоподъемных машин. В результате этих исследований установлено, что при повышении скоростей до определенных пределов производительность машин растет вместе со скоростью, однако при дальнейшем повышении скоростей может произойти снижение производительности за счет увеличения времени разгона и торможения механизмов крана.

Анализ скоростных параметров показывает, что для каждого вида механизмов (подъема, поворота и горизонтального перемещения) имеются пределы скоростей, превосходить которые нецелесообразно.

Скорости грузоподъемных механизмов выбираются исходя из следующих предпосылок:

номинальная скорость определяется условиями технологического процесса, т.е. временем выполнения цикла;

номинальная скорость ограничивается мощностью питающей сети или возможностью установки приводного двигателя определенных размеров;

номинальная скорость является функцией диапазона регулирования при заданной минимальной скорости механизма.

номинальная скорость должна обеспечить наибольшую производительность при наименьших затратах энергии.

Для всех перечисленных случаев, кроме первого, предельное значение скорости не должно превышать установленных значений, а для четвертого случая это значение и является искомым. Для первого случая скорость может иметь любое необходимое значение, но при этом следует иметь в виду, что при превышении определенных значений скоростей время операции сокращаться не будет, если не будут применены системы со специальными параметрами регулирования.

При выборе номинальной скорости иногда решающее значение имеют минимальные скорости, определяемые технологией переработки разнообразных грузов. В настоящее время для большинства технологических процессов переработки грузов получены оптимальные значения минимальных скоростей для точной установки грузов.

Выбор промежуточных фиксированных скоростей, прежде всего, зависит от способностей человека воспринять разницу скоростей соседних фиксированных положений и на основе восприятия этой разницы осуществлять последующие операции управления. Регулирование скорости механизмов горизонтального перемещения в промежутке между максимальной и минимальной скоростями часто осуществляется путем изменения интенсивности разгона или торможения с учетом необходимых ускорений.

Производительность и число включений в час грузоподъемных машин неразрывно связаны со скоростными параметрами. Производительность машин соответствует времени завершения операции по переработке груза. Сокращение времени одной операции при определенной траектории движения груза определяет повышение производительности машины. Каждая машина может иметь фактический или условный цикл проведения грузоподъемной операции.

Под полным циклом грузоподъемной операции следует иметь в виду застроповку груза, выбор слабины каната, подъем груза и его перемещение в необходимую точку, спуск и установку груза, расстроповку и обратное перемещение для начала новой операции. При этом механизмы грузоподъемного устройства имеют минимально необходимое обязательное число включений. Однако по разным причинам в течение цикла оператор производит еще ряд дополнительных включений, связанных с несовершенством системы регулирования, колебаниями груза на гибкой подвеске, недостаточным опытом управления и т.п. Количество таких дополнительных включений может в 2-4 раза превысить число необходимых включений.

Важной задачей разработки высокоэффективных грузоподъемных машин является приближение фактического числа включений к минимально необходимому. В настоящее время наиболее качественные системы регулирования позволяют обеспечить выполнение операций со средним числом включений лишь в 1,5 раза большим минимально необходимого, в то время как наиболее массовые системы параметрического регулирования требуют до 20-30 включений на один цикл перемещения груза, что в 5-6 раз превышает минимально необходимое число включений. Число включений в час у различных механизмов может составлять от 40-60 при режиме Л; до 500-600 - для режима ВТ. При создании и освоении производства систем управления, обеспечивающих устойчивые скорости с широким диапазоном их изменения, происходит общая тенденция снижения числа включений механизмов при одновременном повышении производительности перегрузочных работ.

В данном проекте мы выбираем двухбалочный мостовой кран, который относится к среднему режиму работы с грузоподъемностью до 20 тонн, который осуществляет подъем и перемещение грузов в ремонтно-механических и сборочных цехах со следующим циклом работы:

1. Подъём номинального груза с номинальной скоростью на расчетную высоту;
2. Пауза (перемещение груза в заданное место);
3. Опускание номинального груза с расчетной высоты на нулевую отметку с номинальной скоростью;
4. Пауза (разгрузка);
5. Подъём пустого крюка на расчетную высоту с повышенной скоростью;
6. Пауза (перемещение крана в исходное положение);
7. Опускание пустого крюка с расчетной высоты на нулевую отметку с повышенной скоростью;
8. Пауза (загрузка).

1.2 АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Кинематическая схема представлена на рисунке 1 и ее параметры в таблице №1

Таблица №1

Наименование, ед. изм.	Обозначение	Значение
Грузоподъемность, т	$m_{гр}$	15
Масса грузозахватывающего устройства, кг	m_y	600
Высота подъема, м	h	16,5
Максимальная скорость подъема, м/с	V_{\max}	0,3
Барабан		
Диаметр, м	$D_{б}$	502
Момент инерции барабана, кгм ²	$J_{б}$	1200
Редуктор		
Номинальный к. п. д. передачи		0,9
Передаточное число редуктора	$i_{ред}$	32,4
Кратность полиспаса	i	4

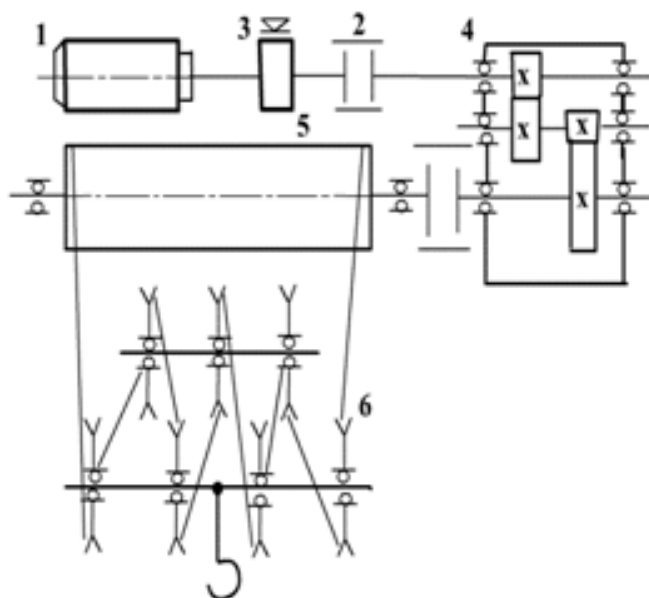


Рисунок 1 - Кинематическая схема механизма подъема

где:

1 - электродвигатель;

2 - муфта;

3 - тормоз;

4 - редуктор;

5-барабан;

6 - полиспаст.

2 ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРО ПРИВОДА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ

Значительная роль в осуществлении комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, ликвидации ручных погрузочно-разгрузочных работ принадлежит подъемно-транспортному машиностроению. Существенное сокращение тяжелого труда при перегрузочных работах осуществляется главным образом путем автоматизации грузозахватных операций, точной установки грузов, а также автоматизации процессов управления грузоподъемными машинами. Поскольку эти задачи решаются с помощью электропривода, то значение совершенствования и внедрения современных электроприводов постоянно возрастает.

В крановом электроприводе в настоящее время широко применяют как полностью тиристорные системы регулирования, так и различные неуправляемые и управляемые полупроводниковые выпрямители, а также отдельные силовые полупроводниковые приборы, что позволяет при сравнительно невысоких затратах получать системы с достаточно значительным регулированием скорости перемещения механизмов. Для сокращения эксплуатационного персонала применяют системы управления грузоподъемными машинами, в частности кранами, по радиоканалу (дистанционно). В этих системах максимальный эффект достигается также при обеспечении устойчивого регулирования скорости.

Основное внимание уделяется новым методам выбора электрооборудования для кранов с учетом уже введенной новой классификации нагружения механизмов и электрооборудования, а также новым системам управления, включая управление по радиоканалу, и различным системам регулирования скорости.

Механизмы подъема мостовых кранов относятся к механизмам циклического действия с активной нагрузкой. В общем случае цикл работы

этих механизмов определяется технологическим процессом, но на выбор приводных двигателей существенное влияние оказывают динамические режимы: пуск, реверс, торможение.

Подавляющее большинство грузоподъемных машин, изготавливаемых отечественной промышленностью, имеет электрический привод механизмов, и поэтому эффективность действия и производительность этих машин в значительной степени зависят от качественных показателей используемого кранового электрооборудования. Для наиболее массовых кранов общего назначения начинают широко применяться электроприводы на основе короткозамкнутых двигателей, значительная часть кранов изготавливается с управлением с пола, а быстроходные краны для тяжелых режимов работы комплектуются различными тиристорными системами, обеспечивающими глубокое регулирование скорости, плавность пуска и торможения при постоянно повышающихся требованиях к экономии энергоресурсов.

Большинство грузоподъемных кранов характеризуется постоянно меняющимися условиями использования при переработке грузов, и поэтому механизмы кранов, имеющие в своем составе электроприводы, должны быть в максимальной степени приспособлены к постоянно видоизменяющейся работе с грузами, разнообразными по массе, размерам, форме, и в условиях производственных помещений или на открытых грузовых площадках.

Чрезвычайно широкий диапазон изменения нагрузок практически любого из крановых электроприводов является одним из главных факторов, требующих особого подхода к выбору расчетных параметров приводных электродвигателей, аппаратуры управления и защиты.

2.1 ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ЭЛЕКТРОПРИВОДУ И СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ

При выборе структуры электропривода следует учитывать особенности технологического процесса, требования надежности, гибкости в управлении, удобства наладки. К электроприводам механизмов подъема мостовых кранов, которые в большинстве случаев управляются оператором, предъявляются жесткие требования к простоте их эксплуатации и надежности при обеспечении необходимого диапазона регулирования скорости. Диапазон регулирования при подъеме и опускании номинального груза определяется минимальной скоростью при посадке грузов. Величина этого диапазона зависит от технологического процесса и номинальной грузоподъемности крана. Так, для кранов грузоподъемностью более 20 тонн среднего режима работы диапазон регулирования $D_{20:1}$, 1,5-2 раза больше, чем скорость при подъеме номинального груза. Важным требованием для электроприводов указанного класса является плавное изменение скорости в переходном процессе, что резко снижает рывок и, следовательно, уменьшает амплитуду раскачивания груза.

Для выполнения отмеченных требований система управления электроприводом должна быть полу - или полностью автоматической, особенно при работе в переходных режимах.

Основные требования к системе электропривода мостового крана можно сформулировать так:

На первых положениях контроллера подъема двигатель должен развивать такой пусковой момент, чтобы исключалась возможность спуска номинального груза при напряжении питающей сети 90% номинального и в то же время желательная минимальная скорость составляла при наименьшей нагрузке не более 30% номинального значения.

При перемещении рукоятки командоконтроллера в направлении снижения скорости последняя не должна повышаться даже кратковременно.

Это в первую очередь относится к переключению с первого положения в нулевое, когда запаздывание механического торможения не должно приводить к повышению малой скорости спуска.

Система электрического торможения должна иметь необходимый запас, обеспечивающий надежное замедление груза, равного 125% номинального, при напряжении питающей сети 90% номинального.

Движение груза должно происходить только в направлении, устанавливаемом командоаппаратом, да же при неисправностях в схеме. В последнем случае груз может оставаться неподвижным.

Выбор системы электропривода для крановых механизмов осуществляется на основе анализа сравнительных показателей.

Экономическая оценка систем электропривода должна базироваться на принципе минимальных расходов, связанных с первоначальными затратами, эксплуатационными затратами на ремонт, а также затратами энергии, потребляемой из сети на разгон и торможение крановых механизмов за период эксплуатации до капитального ремонта (10 лет).

Экономическая оценка может быть осуществлена расчетом по определённой методике. Выбирается система, обладающая наилучшими экономическими показателями. Если экономические показатели сравниваемых систем близки (расхождение не превышает 15%), то производится дополнительная оценка по массогабаритным показателям и условиям размещения электрооборудования. Существенным требованием к электроприводу механизма подъёма является обеспечение надежного торможения при действии активного момента нагрузки. При этом, в целях энергосбережения, целесообразно применять рекуперативное торможение, особенно при мощностях двигателей более 30 кВт.

2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для регулируемых крановых электроприводов с диапазоном регулирования скорости более 20: 1 наиболее применимы следующие системы электропривода:

1. Система с тиристорным преобразователем напряжения (система ТП-Д);
2. Система с тиристорным регулятором напряжения (ТРН-АД);
3. Система с преобразователем частоты (система ПЧ-АД);
4. Система с асинхронным двигателем и импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока без рекуперации энергии скольжения (система АД-ИР);
5. Система с асинхронным двигателем и импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока с рекуперацией энергии скольжения в сеть (система АД-ИР-И).

В этой работе выполнен сравнительный анализ энергетических и экономических показателей названных систем крановых электроприводов, причем более эффективной считается та система электропривода, которая потребляет меньше электроэнергии при выполнении единицы механической работы технологического цикла.

В цикл работы крана входят этапы подъема груза, перемещения его на необходимое расстояние, опускания груза и пауза для строповки. Задана стандартная продолжительность включения ПВ=40%, причем в цикле работы имеются участки движения с пониженной скоростью.

При определении рациональных границ применения системы электропривода следует оценивать не только энергетические показатели сравниваемых систем, но и годовые приведенные затраты.

Исходя из того, что рассматриваемый нами кран, который осуществляет подъем и перемещение грузов в ремонтно-механических и

сборочных цехах, относится к среднему режиму работы с грузоподъемностью до 20 тонн с мощностью двигателя механизма подъема более 55 кВт и диапазоном регулирования D20:1, то на основании изложенного можно обоснованно принять в качестве рациональной системы электропривода подъема мостового крана систему ПЧ-АД.

Кроме того, следует учесть, что система ПЧ-АД лучше приспособлена для реализации дистанционного телемеханического управления, чем другие системы электропривода.

3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

3.1 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

Частотные преобразователи используются с асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Зачастую разработчики или изготовители кранов, модернизируя крановый электропривод, применяют для частотно-регулируемого электропривода традиционные электродвигатели крановой серии, имеющие роторы специального исполнения, залитые сплавом повышенного сопротивления. Это продиктовано, в первую очередь, требованиями обеспечения повышенного момента в процессе частых пусков. Для создания удовлетворительного теплового режима принимаются специальные меры по снижению кратности пусковых токов, увеличивается расход активных материалов. Все это приводит к увеличению массы и стоимости двигателя. Система изоляции и подшипниковые узлы серийных двигателей не приспособлены для работы с преобразователями частоты, что приводит к преждевременному выходу из строя обмоток статора, выплавлению стержней ротора, разрушению подшипников и датчиков положения, применяющихся в электроприводе главного подъема. Система управления получается нерациональной из-за

необходимости применения более мощных преобразователей частоты и двигателей больших габаритов. Очевидно, что для частотно-регулируемого электропривода необходимо применять специальные двигатели.

С учетом вышесказанного, для электропривода механизма подъема крана выбираем асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором крановой серии типа 5АИ280S8, адаптированный для работы от преобразователя частоты, представлен на рисунке №2 и его типоразмер на рисунке №3



Рисунок 2 - Двигатель 5АИ280S8.

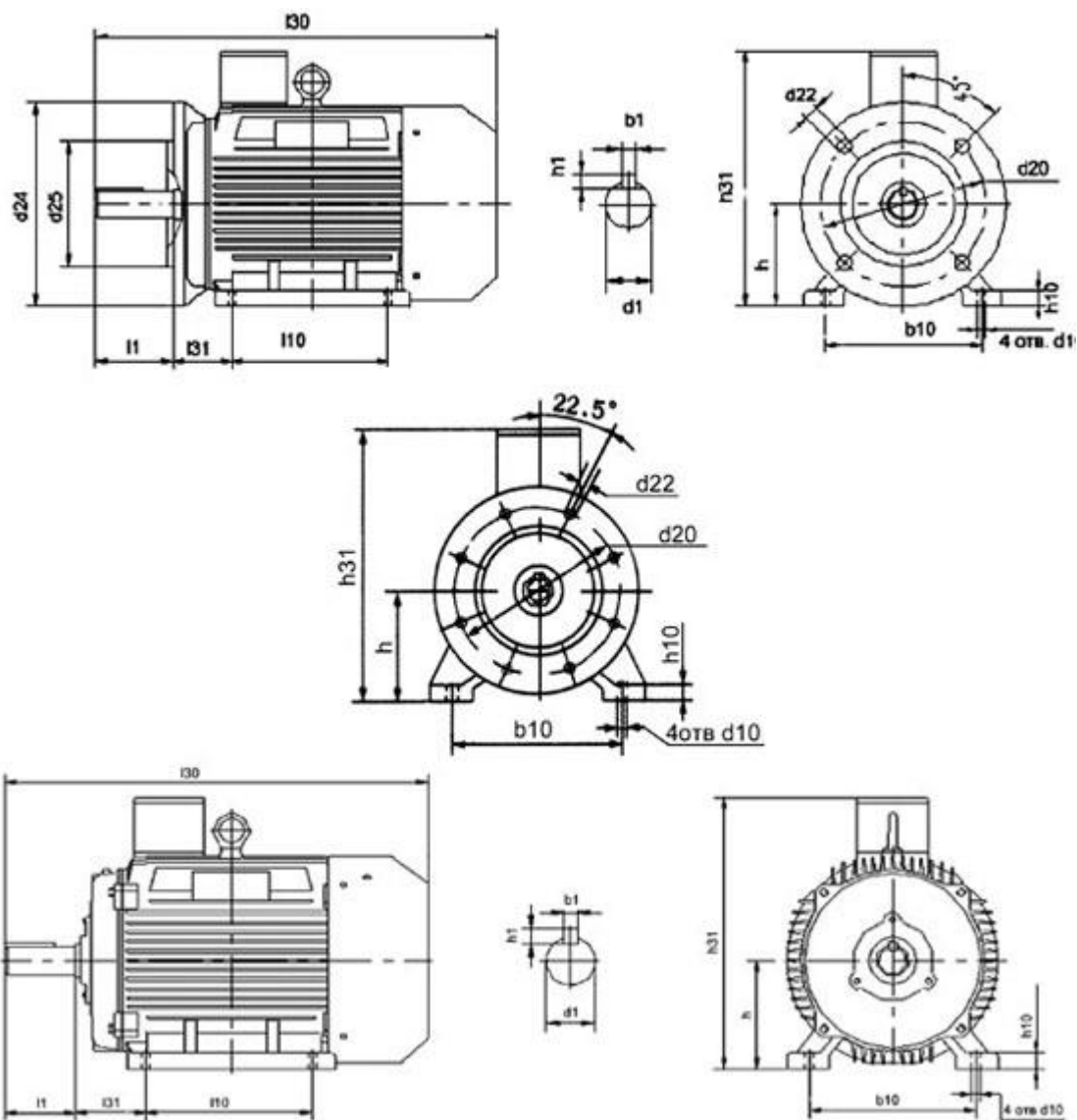


Рисунок 3 - Типоразмер двигателя

Технические данные электродвигателя 5АИ280S8 приведены в таблице

№ 2

Таблица № 2

Типоразмер двигателя	Мощность P_2 , кВт	Синхронная частота вращения n_0 , об/мин	При номинальной нагрузке		
			частота вращения n_n , об/мин	КПД η_n , %	$\cos\varphi_n$
5АИ280S8	55	750	740	93.6	0.86
M_{\max}/M_n	$M_{\text{пуск}}/M_n$	$I_{\text{пуск}}$	$J_{\text{дв.}}$ кг·м ²	Степень защиты	Климат. испол.
2,2	1,8	712,8 А	2.63	IP54	У3

Примечания:

1. Технические характеристики приведены для основного режима работы S3 (ПВ = 40 %).
2. Диапазон изменения частоты питания – от 5 до 50 Гц.

3.1.1 РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} = 78,54 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_n = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0} = \frac{750 - 740}{750} = 1,33.$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$\omega_{\text{двн}} = \frac{n_{\text{ном}}}{9,55} = \frac{740}{9,55} = 77,495 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{двн}} = \frac{P_n \cdot 1000}{\omega_{\text{дв.}}} = \frac{55000}{77,495} = 709,721 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определим кратность максимального и пускового момента двигателя

$$m_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{двн}}} = 2,2 ;$$

$$m_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{двн}}} = 1,8$$

и кратность пускового тока

$$k_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1н}} = 6,6 .$$

3.1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ

Параметры схемы замещения асинхронного двигателя, приведенной на рисунке 4, определим по методике, изложенной в и сведем их в таблицу № 3

Таблица № 3

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, м	$L_{1\sigma}$, Гн	R_2' , Ом	$X_{2\sigma}'$, Ом	$L_{2\sigma}'$, Гн	X_μ , Ом	X_k , Ом	L_μ , Гн
0,054	0,218	$6,95 \cdot 10^{-4}$	0,031	0,294	$9,354 \cdot 10^{-4}$	5,721	0,52	0,01821

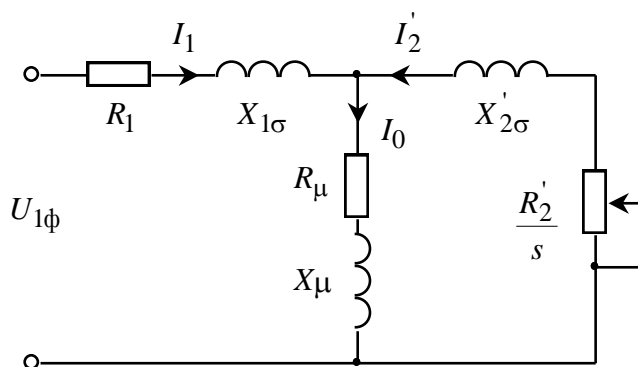


Рисунок 4 – Схема замещения асинхронного двигателя

Номинальный ток статора

$$I_{1H} = \frac{P_H \cdot 1000}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,86 \cdot 0,936} = 103,525 \text{ A}.$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке

$$I_{11} = \frac{P_H \cdot p^*}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,936} = 80,938 \text{ A}.$$

где:

p^* – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p^* = 0,75$;

η_{p^*} – КПД при частичной нагрузке, принимаем $\eta_{p^*} = \eta_H$.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,99 \cdot \cos \varphi_H = 0,99 \cdot 0,86 = 0,825.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p^* \cdot I_{1H} \cdot \frac{1 - s_H}{1 - p^* \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(p^* \cdot \frac{1 - s_H}{1 - p^* \cdot s_H} \right)^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{80,938^2 - \left(0,75 \cdot 103,525 \cdot \frac{1 - 0,0133}{1 - 0,75 \cdot 0,0133} \right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1 - 0,0133}{1 - 0,75 \cdot 0,0133} \right)^2}} = 35,721 \text{ A}.$$

Критическое скольжение

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_M + \sqrt{k_M^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_M - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_M - 1)}$$

$$= 0,0133 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,0133 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,0133 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,061.$$

где: β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5, принимаем $\beta = 1,7$.

Определим коэффициенты

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + 103,525 = 1,026 ;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_M \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,0133)}{2 \cdot 1,026 \cdot 2,2 \cdot 55000} = 0,57 .$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K} \right) \cdot C_1} = \frac{0,57}{\left(1,7 + \frac{1}{6,1} \right) \cdot 1,026} = 0,031 \text{ Ом} .$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,026 \cdot 0,031 \cdot 1 = 0,054 \text{ Ом} .$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_K

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{S_K^2} \right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,061^2} \right) - 1^2} = 16,298 ,$$

тогда

$$X_K = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 16,298 \cdot 1,026 \cdot 0,031 = 0,52 \text{ Ом} .$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_K = 0,42 \cdot 0,52 = 0,218 \text{ Ом} .$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,218}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 6,95 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} .$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано

$$X'_{2\sigma} = \frac{0,58 \cdot X_k}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,52}{1,026} = 0,294 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,294}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 9,354 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - I_{1H} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,86 - 103,525 \cdot 0,054)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,86^2} - 103,525 \cdot 0,218)^2} = 204,31 \text{ В}. \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{204,31}{35,712} = 5,721 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2\pi \cdot f_{1H}} = \frac{5,721}{2\pi \cdot 50} = 0,018 \text{ Гн}$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{эм.н}^* = \frac{3 \cdot U_{1\phi н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}, =$$

$$\frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,031}{78,54 \cdot 1,33 \cdot \left[0,52^2 + \left(0,054 + \frac{0,031}{1,33} \right)^2 + \left(\frac{0,054 \cdot 0,031}{1,33 \cdot 5,721} \right)^2 \right]} = 721,339 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{эм.н}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2н} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1н}^2 - I_0^2}, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 4 \cdot \frac{0,01821}{(0,01821 + 0,000695)} \cdot 0,92 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{103,525^2 - 35,712^2} = 721,274 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где:

$$\Psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 35,712 \cdot 0,01821 = 0,92, \text{ Вб}.$$

Должны выполняться условия:

$$M_{ов.н} < M_{эм.н}^* \leq 1,1 \cdot M_{ов.н} = 709,721 < 721,339 \leq 780,693 ;$$

$$M_{эм.н}^{**} \approx M_{эм.н}^* . 721,274 \approx 721,339$$

По результатам расчета эти условия выполняются

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, Гн	R_2' , Ом	$X_{2\sigma}'$, Ом	$L_{2\sigma}'$, Гн	X_μ , Ом	X_k , Ом	L_μ , Гн
0,054	0,218	0,000695	0,031	0,294	0,0009354	5,721	0,52	0,01821

3.1.3 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя рассчитывается по выражениям:

$$M(S, f_1) = \frac{3 \cdot \left[U_{1\Phi}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 \right]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot S \cdot \left(\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right)} =$$

$$= \frac{3 \cdot \left[220^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 \right] \cdot 0,031}{78,54 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot S \cdot \left(\left(0,52 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,054 + \frac{0,031}{S} \right)^2 + \left(\frac{0,054 \cdot 0,031}{S \cdot 5,721 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right)};$$

$$\omega(s, f) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1 - s).$$

Критический момент и критическое скольжение двигателя на естественной характеристике

$$M_K = 3 \cdot \frac{U_{1H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left(R_1 + \sqrt{[R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2] \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2} \right)} \right)} =$$

$$= 3 \cdot \frac{220^2}{2 \cdot 78,54 \cdot \left(0,054 + \sqrt{[0,054^2 + (0,218 + 0,294)^2] \cdot \left(1 + \frac{0,054^2}{5,721^2} \right)} \right)} = 1603 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_K = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1^2}{X_\mu^2} + 1}{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2}} = 0,128 \cdot \sqrt{\frac{\frac{0,054^2}{5,721^2} + 1}{0,054^2 + (0,218 + 0,294)^2}} = 0,059.$$

Номинальный электромагнитный момент двигателя

$$M_{\text{эм}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{н}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \left(X_k^2 + \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right] \right)}$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,031}{78,54 \cdot 0,0133 \left(0,52^2 + \left[\left(0,54 + \frac{0,031}{0,0133} \right)^2 + \left(0,054 + \frac{0,031^2}{0,0133 \cdot 5,721} \right)^2 \right] \right)} = 721,339$$

Естественная механическая характеристика двигателя

$\omega = f(M)$ при $f_1 = f_{1\text{н}} = 50$ Гц приведена на рисунке 5.

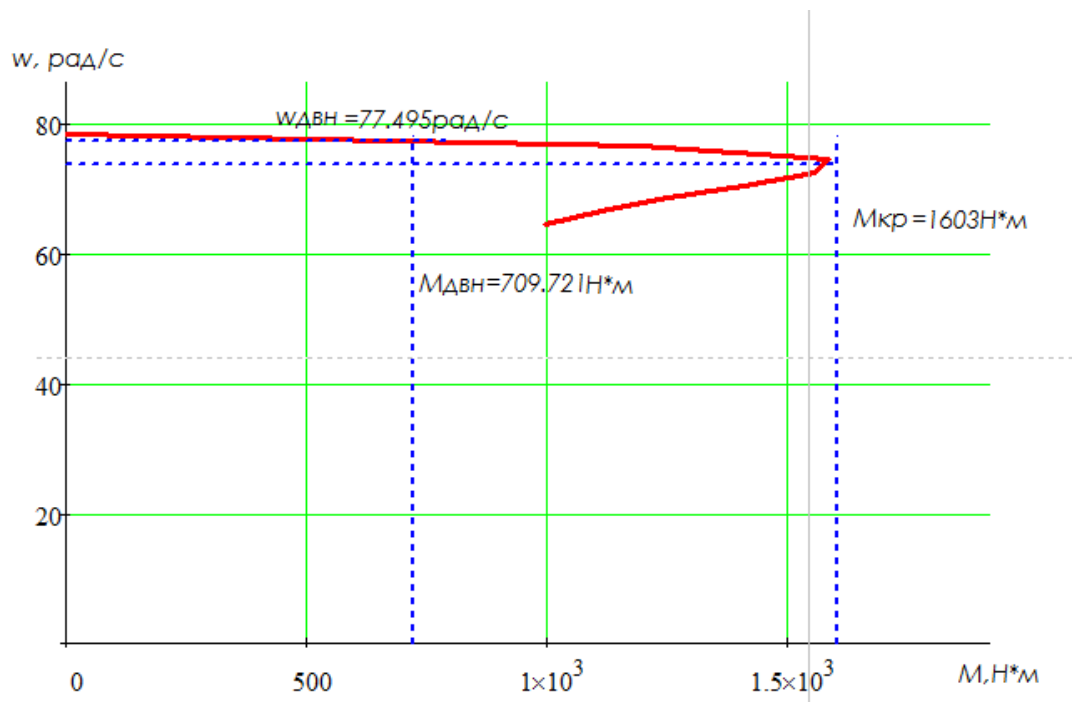


Рисунок 5 – Естественная механическая характеристика АД

Момент от силы трения на валу электродвигателя

$$M_{\text{с}} = M_{\text{эм}} - M_{\text{дв.н}} = 721,339 - 709,721 = 11,618 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

По полученным результатам определяем:

– кратность пускового момента

$$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{эм п}}}{M_{\text{эм н}}} = 2,2$$

– кратность максимального (критического) момента

$$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{эм к}}}{M_{\text{эм н}}} = 1,8$$

– критическое скольжение

$$s_{\text{к}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{к}}}{\omega_0} = \frac{78,54 - 73,906}{78,54} = 0,059$$

Естественные электромеханические характеристики двигателя $I_1(s, f_1)$

и $I_2'(s, f_1)$ рассчитываются по выражениям:

$$I_1(S, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(S, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(S, f_1) \cdot \sin \varphi_2(S, f_1)};$$

$$\begin{aligned} I_2'(S, f_1) &= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{\text{к}} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}}}\right)^2}} = \\ &= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(0,054 + \frac{0,031}{s}\right)^2 + \left(0,52 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,054 \cdot 0,031}{s \cdot 5,721 \cdot \frac{f_1}{50}}\right)^2}}; \\ I_0(f_1) &= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{\mu})^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,054^2 + (0,218 + 5,721)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2}}; \end{aligned}$$

$$\sin \varphi_2(S, f_1) = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \cdot X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \cdot 0,52}{\sqrt{\left(0,054 + \frac{0,031}{s}\right)^2 + \left(0,52 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

$$\omega(S, f) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1 - S).$$

По результатам расчета на рисунке 6 построены естественные электрохимические характеристики $\omega(I_1)$, $\omega(I_2')$ при $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц.

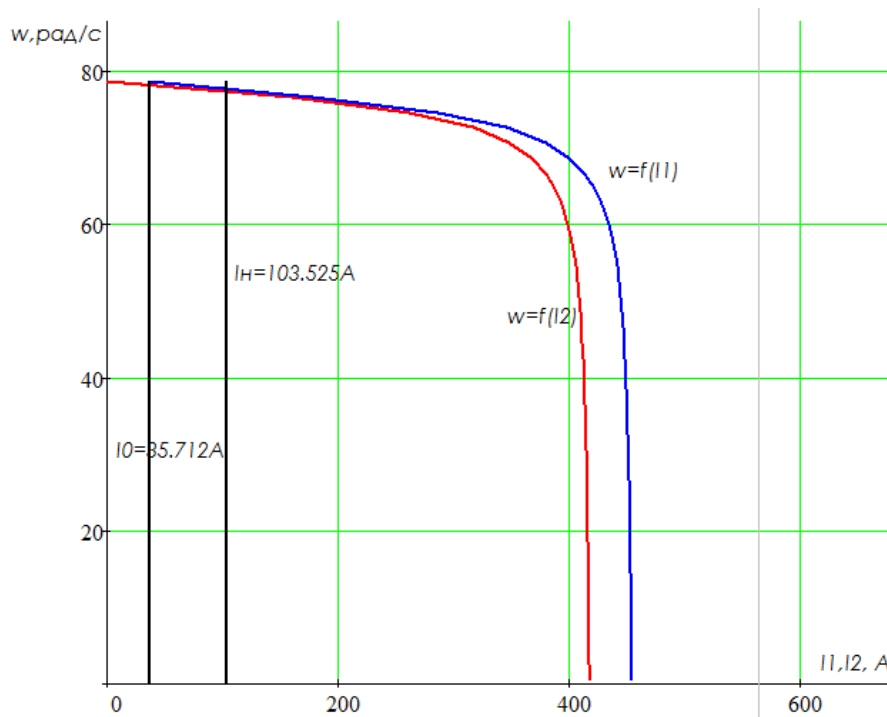


Рисунок 6 – Естественные электрохимические характеристики АД $\omega(I_1)$, $\omega(I_2')$

По результатам расчета электрохимической характеристики $\omega(I_1)$ найдены значения тока холостого хода (намагничивания) $I_0 = 35,712$ А, номинального тока $I_n = 103,525$ А и пускового тока двигателя $I_{II} = 683,265$ А.

По полученным результатам определяем кратность пускового тока

$$k_i = \frac{I_{II}}{I_n} = 6,6$$

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристик двигателя оказались близки к приведённым в таблице 2 справочным параметрам двигателя.

3.2 МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМА

3.2.1 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА

Расчетная схема замещения механической системы электропривода может быть представлена в виде одностепенной системы

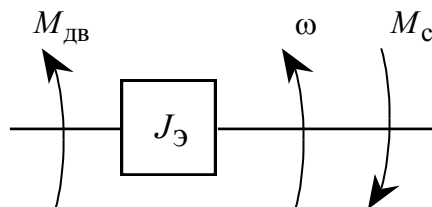


Рисунок 9 - Расчетная схема механической системы привода

На рисунке 9 приняты следующие обозначения:

$M_{дв}$ – вращающий момент, развиваемый на валу электродвигателя, $H \cdot м$;

$M_с$ – момент нагрузки с учетом потерь в механизме, приведенный к валу двигателя, $H \cdot м$;

ω – угловая скорость, $рад/с$;

$J_э$ – эквивалентный момент инерции привода, приведенный к валу двигателя, $кг \cdot м^2$.

Коэффициент передачи

$$K_{пер} = \frac{V_n}{\omega_{двн}} = 3,871 \cdot 10^{-3},$$

Момент инерции барабана приведенный

$$J_{\text{барприв}} = J_{\text{бар}} \cdot \frac{1}{i_{\text{ред}}^2} = 1200 \cdot \frac{1}{32,4^2} = 1,143 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведенный момент инерции максимальный

$$J_{\text{привмакс}} = (m_{\text{кр}} + m_{\text{гр}}) \cdot K_{\text{пер}}^2 = (600 + 20000) \cdot 0,003871^2 = 0,234 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Приведенный момент инерции минимальный

$$J_{\text{привмин}} = m_{\text{кр}} \cdot K_{\text{пер}}^2 = 600 \cdot 0,003871^2 = 8,992 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Эквивалентный момент инерции максимальный

$$J_{\text{привмакс}} = J_{\text{привмакс}} \cdot 1,25 \cdot J_{\text{дв}} \cdot J_{\text{барприв}} = 3,521 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Эквивалентный момент инерции минимальный

$$J_{\text{привмин}} = J_{\text{привмин}} \cdot 1,25 \cdot J_{\text{дв}} \cdot J_{\text{бар}} = 8,992 \cdot 10^{-3} \cdot 1,25 \cdot 2,63 \cdot 1,143 = 3,296 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где: $m_{\text{кр}} = 600$ – масса крюка;

$m_{\text{гр}} = 20000$ – масса груза максимальная.

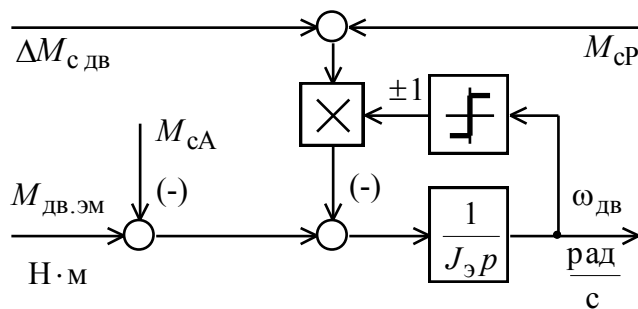


Рисунок 10 – Структурная схема одномассовой механической системы регулируемого электропривода

3.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАННОЙ ОБЛАСТИ РАБОТЫ

Момент сопротивления на валу двигателя

$$M_{с.дв.} = M_{эм} - M_{дв.н.} = 721,339 - 709,721 = 11,618 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

КПД передачи в номинальном режиме

$$\eta_{пер.н.} = \eta_{мех} \cdot \eta_{ред} = 0,93 \cdot 0,9 = 0,837$$

где

$\eta_{мех} = 0,9$ – КПД механической системы;

$\eta_{ред} = 0,93$ – КПД редуктора.

Коэффициенты постоянных и переменных потерь

$$a = \frac{1 - \eta_{мех} \cdot \eta_{ред}}{2 \cdot (\eta_{мех} \cdot \eta_{ред})} = \frac{1 - 0,9 \cdot 0,93}{2 \cdot (0,9 \cdot 0,93)} = 0,097$$

Приведенный к валу двигателя момент, обусловленный грузом:

– при максимальном грузе

$$M_{грпривмакс} = \frac{g \cdot (m_{кр} + m_{гр}) \cdot R_{бар}}{i_{пол}} \cdot \frac{1}{i_{ред}} = \frac{9,81 \cdot (600 + 15000) \cdot 0,502}{4} \cdot \frac{1}{32,4} = 592,436 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $m_{кр} = 600$ – масса крюка;

$m_{гр} = 20000$ – масса груза максимальная.

– при минимальном грузе

$$M_{грпривмин} = \frac{g \cdot m_{rh} \cdot R_{бар}}{i_{пол}} \cdot \frac{1}{i_{ред}} = \frac{9,81 \cdot 600 \cdot 0,502}{4} \cdot \frac{1}{32,4} = 22,786 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Величина постоянных потерь в механизме

$$\Delta M_{смех} = a \cdot M_{грпривмакс} = 0,097 \cdot 592,436 = 57,686 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент трения на валу первой массы двухмассовой
электромеханической системы при максимальном грузе

$$M_{с} = M_{с.дв.} + M_{с.пост} = 11,618 + 57,686 = 69,304 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Статические моменты:

– при подъеме максимального груза

$$M_{с1\max} = M_{с.дв.} + M_{с.пост} + (1 + b) \cdot M_{гр.\max} =$$

$$11,618 + 57,686 + (1 + 0,097) \cdot 592,436 = 719,206 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при подъеме пустого грузозахватного устройства

$$M_{с1\min} = M_{с.дв.} + M_{с.пост} + (1 + b) \cdot M_{гр.\min} =$$

$$11,618 + 57,686 + (1 + 0,097) \cdot 22,786 = 94,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при спуске максимального груза

$$M_{с2\max} = -M_{с.дв.} - M_{с.пост} + (1 - b) \cdot M_{гр.\max} =$$

$$= -11,618 - 57,686 + (1 - 0,097) \cdot 592,436 = 580,598 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при спуске пустого грузозахватного устройства

$$M_{с2\min} = -M_{с.дв.} - M_{с.пост} + (1 - b) \cdot M_{гр.\min} =$$

$$= -11,618 - 57,686 + (1 - 0,097) \cdot 22,786 = -44,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Заданная область работы приведена на рисунке 11.

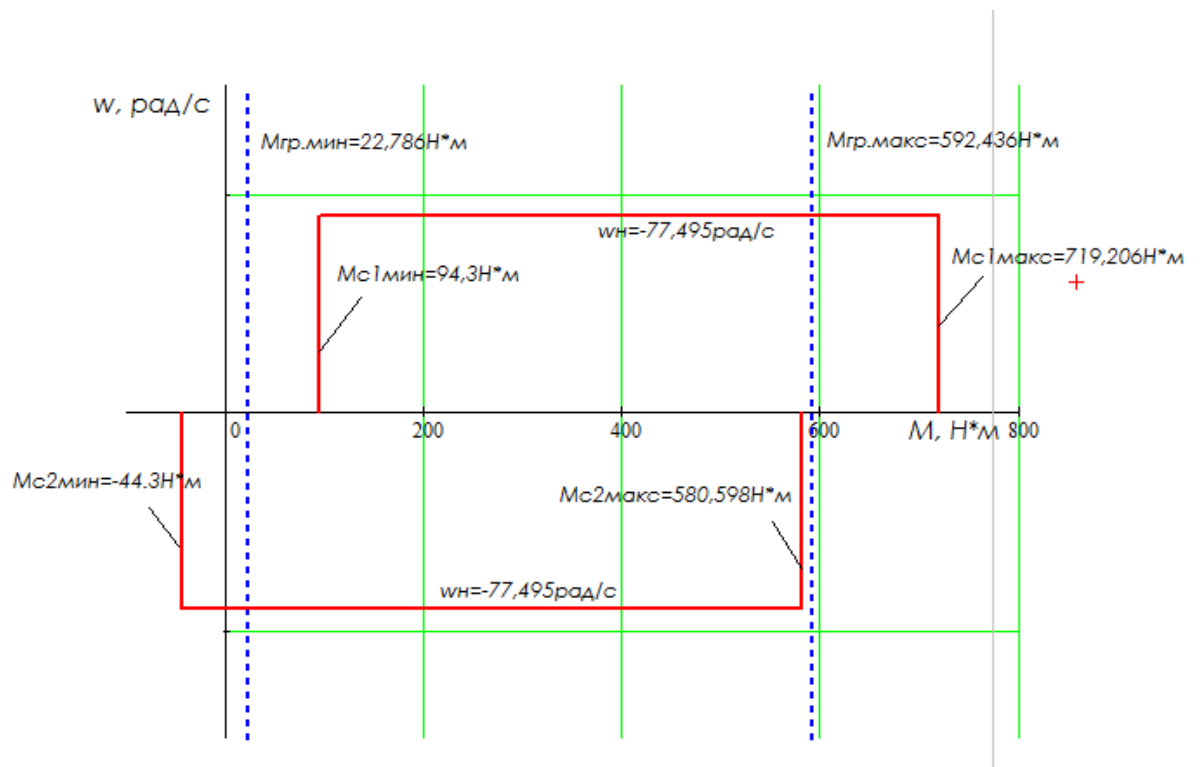


Рисунок 11 – Заданная область работы электропривода

3.4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Для кранового частотно-регулируемого электропривода требуются преобразователи частоты, специально адаптированные к применению в грузоподъемных кранах и обладающие необходимыми функциональными возможностями:

- функция управления тормозом предназначена для выдачи сигнала на открытие тормоза при достижении двигателем необходимого момента и сигнала на наложение тормоза при снижении скорости до минимального уровня. Для корректировки снятия тормоза может использоваться функция весоизмерения.
- функция подъема с повышенной скоростью. Максимальная скорость подъема определяется автоматически в зависимости от массы груза.
- функция ограничения момента электродвигателя с формированием желаемой механической характеристики в двигательном и генераторном режимах.
- функция формирования заданного темпа разгона и торможения.

функция торможения электропривода с использованием тормозного резистора или блока рекуперации. Экономический эффект от внедрения модулей рекуперации увеличивается: с увеличением мощности электроприводов, при резких торможениях инерционных механизмов, а также при опускании груза на большую глубину (лифты, шахтные подъемники). Учитывая сложившееся мнение о низкой эффективности рекуперации для систем с током потребления до 100 А, а также относительно высокую стоимость модулей рекуперации и сложность внедрения, принято решение использовать тормозной резистор.

3.4.1 ПАРАМЕТРЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

С учетом перечисленных выше требований выбираем преобразователь частоты *ALTIVAR 71HD75N4*

Параметры преобразователя частоты приведены в таблице № 5

Таблица 5

Тип	Параметры питающей сети		Выходная частота		Выходной ток	
ALTIVAR 71HD75N4	$U_{1л}$, В	f_c , Гц	$f_{и}$, Гц		$I_{ин}$, А	$I_{ин макс}$, А (60 с)
	380-480	50/60	0-120		167	250.5



Рисунок 12 - Преобразователи частоты Altivar 71

Преобразователи частоты Altivar 71 имеет разнообразные законы управления двигателем и многочисленные функциональные возможности, отвечают самым строгим требованиям применений.

Отличительные особенности:

- Встроенные алгоритмы управления: U/f-регулирование, векторное управление в разомкнутой и замкнутой системе
- Встроенные протоколы Modbus и CANopen
- ПИД-регулятор

- Повышенная точность при работе на очень низкой скорости и улучшенные динамические характеристики
- Плавное, безударное управление несбалансированными механизмами с помощью системы адаптации мощности (Energy Adaptation System - ENA)
- Расширенный диапазон выходной частоты для высокоскоростных двигателей

4 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

4.1 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Система векторного частотного управления асинхронным двигателем базируется на представлении физических переменных двигателя пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули так и положения в пространстве. Основой для реализации систем управления частотного – регулируемых асинхронных электроприводов с векторным управлением является структурная схема двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокоцепления ротора Ψ_2^* .

Модели регулируемого асинхронного электропривода с частотным векторным управлением реализуются на основе базовой функциональной схемы:

- с моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ (рисунок 13)
- схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя без датчика потока и скорости (рисунок 24). Общим для модели является 4-х контурная система автоматического управления (САУ) регулируемого асинхронного электропривода (РЭП). Управляющими сигналами на входе РЭП постоянное значение потокоцепления ротора Ψ_2^* и заданное значение скорости вращения двигателя ω^* .

В частном случае возможно отсутствие контура и регулятора потокоцепления ротора. В этом случае задается значение тока I_d , которое затем удерживается постоянным в процессе работы привода. Развитие моделей осуществляется путем исключения датчиков потока и скорости вращения двигателя и реализации позиционных и следящих систем электропривода.

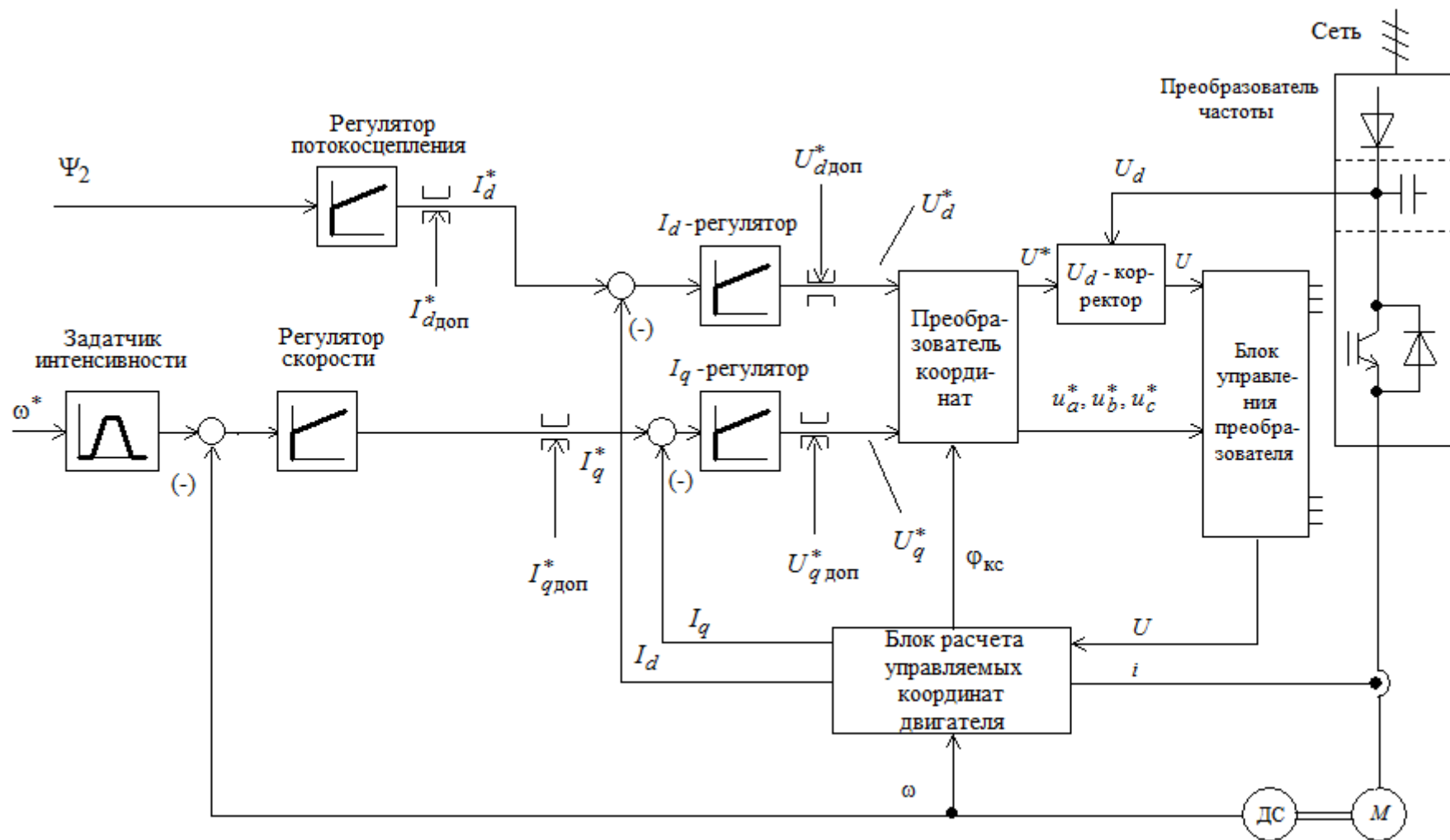


Рисунок 13 – Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным векторным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ с датчиком скорости без датчика потока.

В моделях асинхронного электропривода с **частотным векторным управлением** используются следующие модели асинхронного электродвигателя:

– двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, структурная схема которого представлена на рисунке 15 (полная схема) и рисунке 16 (упрощенная схема);

– двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора α, β (рисунке 17)

– трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора a, b, c (рисунке 18);

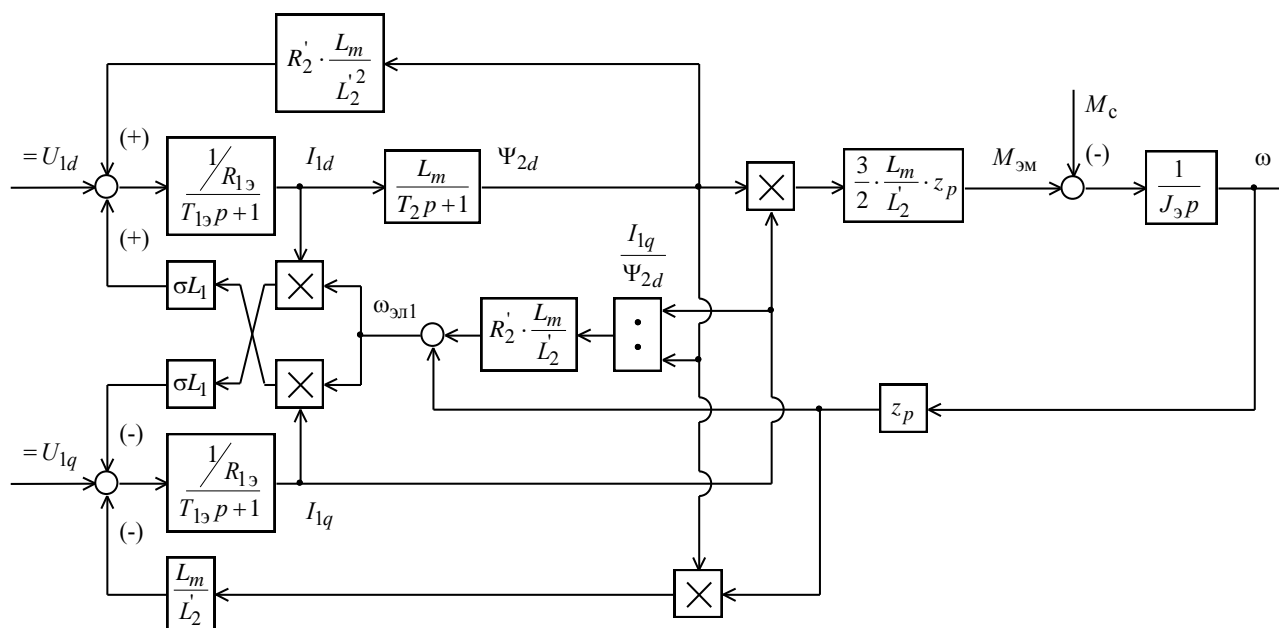


Рисунок. 14 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

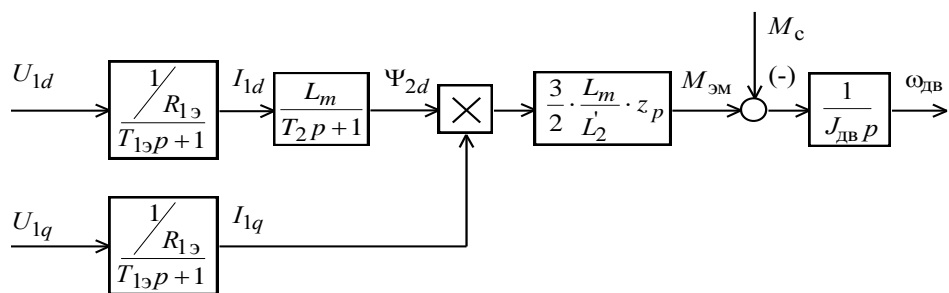
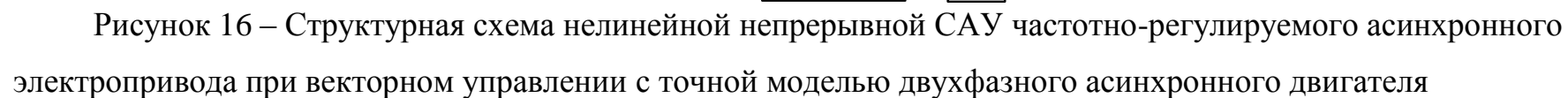


Рисунок 15 – Структурная схема двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, с компенсированными внутренними обратными связям



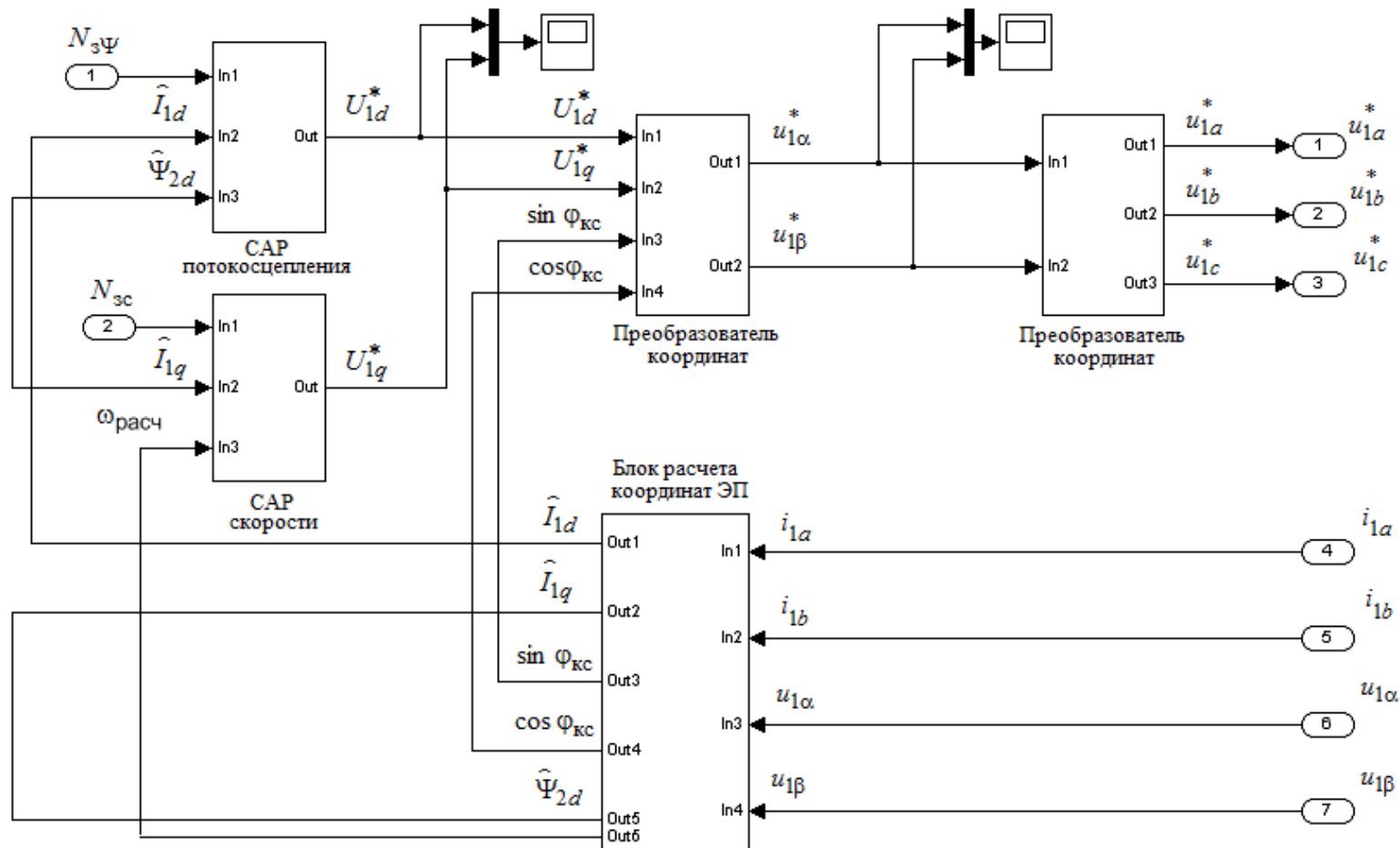


Рисунок 17 – Имитационная модель блока расчета управлений и преобразования координат системы векторного управления регулируемого асинхронного электропривода

Структурные схемы блоков преобразования координат двигателя

Поскольку управления трехфазным асинхронным двигателем формируется в двухфазной системе координат, в моделях электропривода используются блоки прямого и обратного преобразования координат двигателя. Схемы моделей блоков преобразователей координат приведены на рисунок 18 и 19. Для преобразования не указанных на приведенных схемах координат двигателя блоки идентичные.

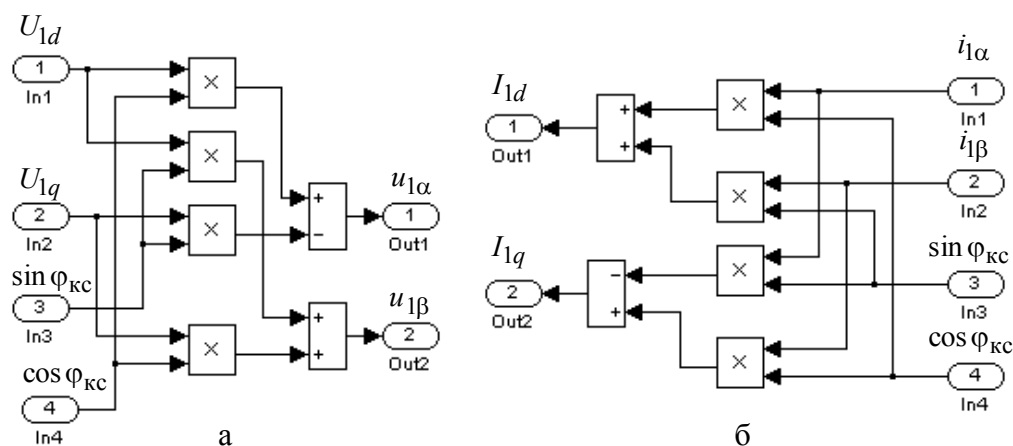


Рисунок 18 – Имитационные модели преобразователей координат:

а – из вращающейся системы координат d, q в неподвижную систему α, β ;

б – из неподвижной системы координат α, β во вращающуюся систему d, q

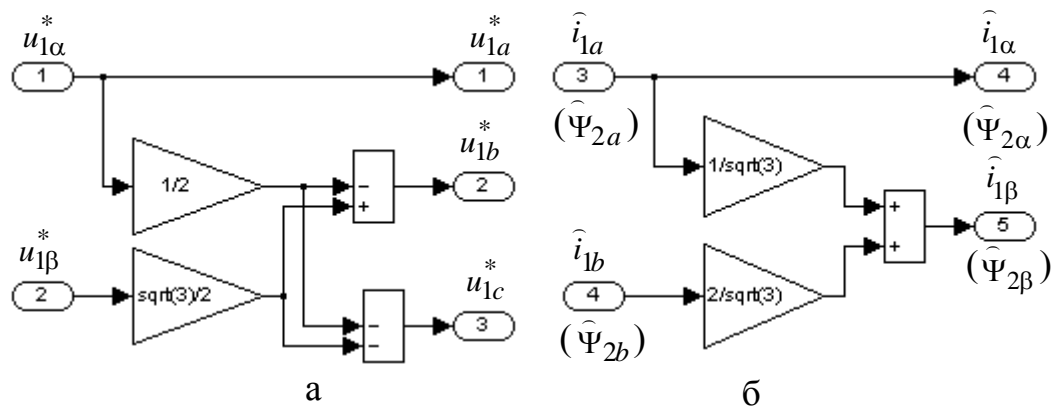


Рисунок 19 – Имитационные модели преобразователей координат:

а – из неподвижной двухфазной координатной системы α, β в

неподвижную

трехфазную систему координат а, b, с; б – из неподвижной трехфазной

системы координат а, b, с в неподвижную двухфазную координатную

систему α, β

Структурные схемы ПИ-регуляторов

Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с неуправляемым значением уровня ограничения интегральной составляющей выходного сигнала в режиме насыщения приведена на рисунке 20.

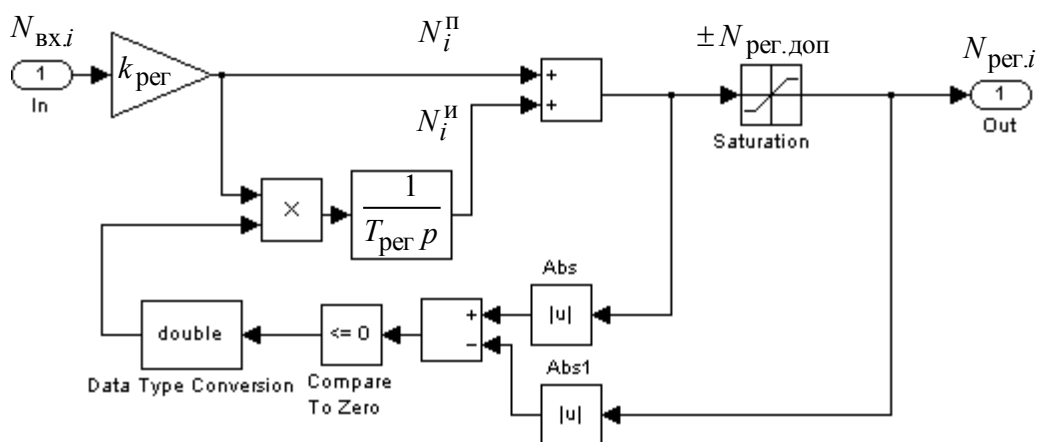


Рисунок 20. Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с

отключением интегральной составляющей сигнала при насыщении

Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с управляемым значением уровня ограничения интегральной составляющей выходного сигнала в режиме насыщения приведена на рисунке 21.

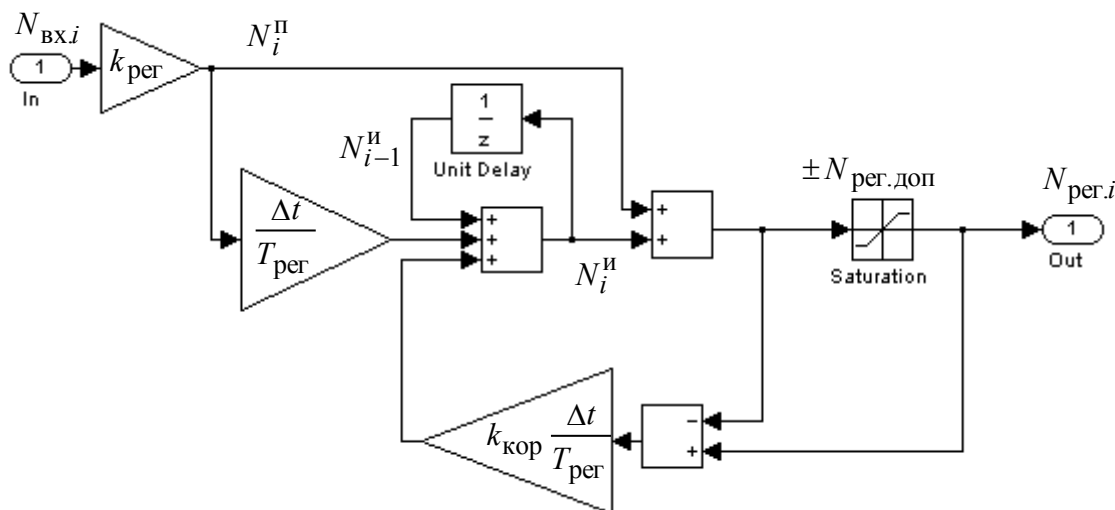


Рисунок 21. Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с регулируемым значением интегральной составляющей сигнала в режиме насыщения

Для ограничения выходного сигнала регулятора скорости в зависимости от фактического значения сигнала регулятора потокосцепления используется модель ПИ-регулятора скорости, приведенная на рисунке 22.

Для ограничения выходного сигнала регулятора тока I_q в зависимости от фактического значения сигнала регулятора тока I_d используется модель ПИ-регулятора тока, приведенная на рисунке. 23. Для компенсации влияние ЭДС вращения, наводимой в статоре потокосцеплением ротора, в регуляторе тока I_q предусмотрена положительная обратная связь по скорости двигателя с коэффициентом $k_{\text{пос}}$.

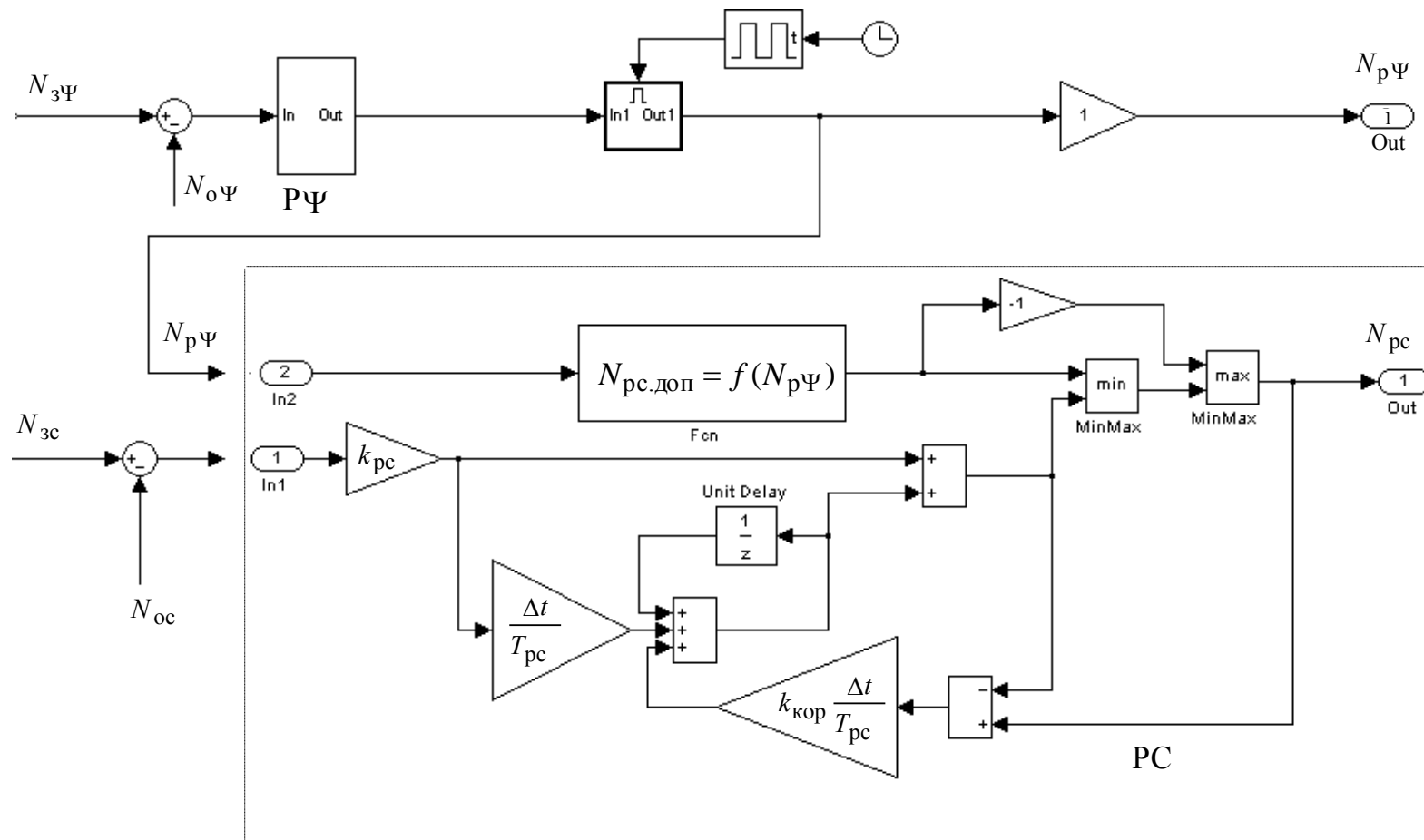


Рисунок 22. Имитационная модель ПИ-регулятора скорости с управляемым значением ограничения выходного сигнала

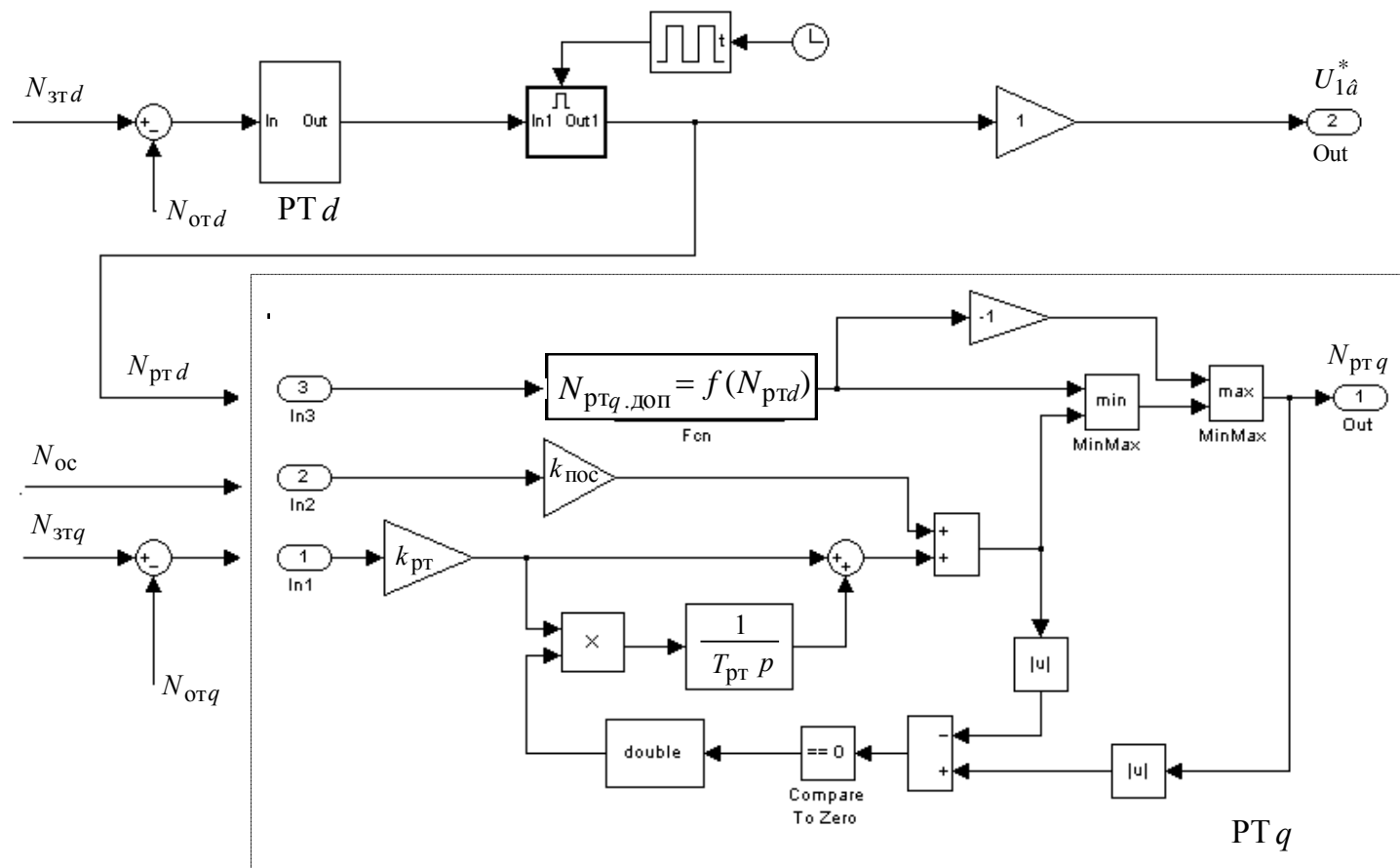


Рисунок 23. Имитационная модель ПИ-регулятора тока I_q с положительной обратной связью по скорости двигателя и управляемым значением ограничения выходного сигнала

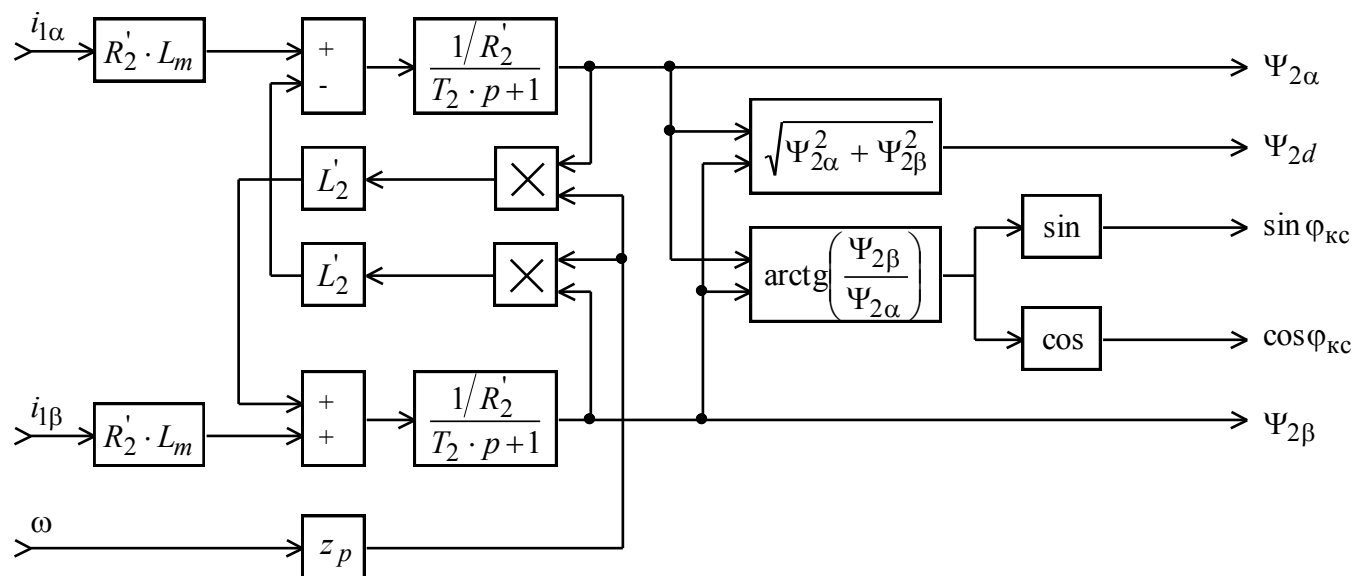


Рисунок 24. Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений измеренных токов $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$ и скорости ω двигателя

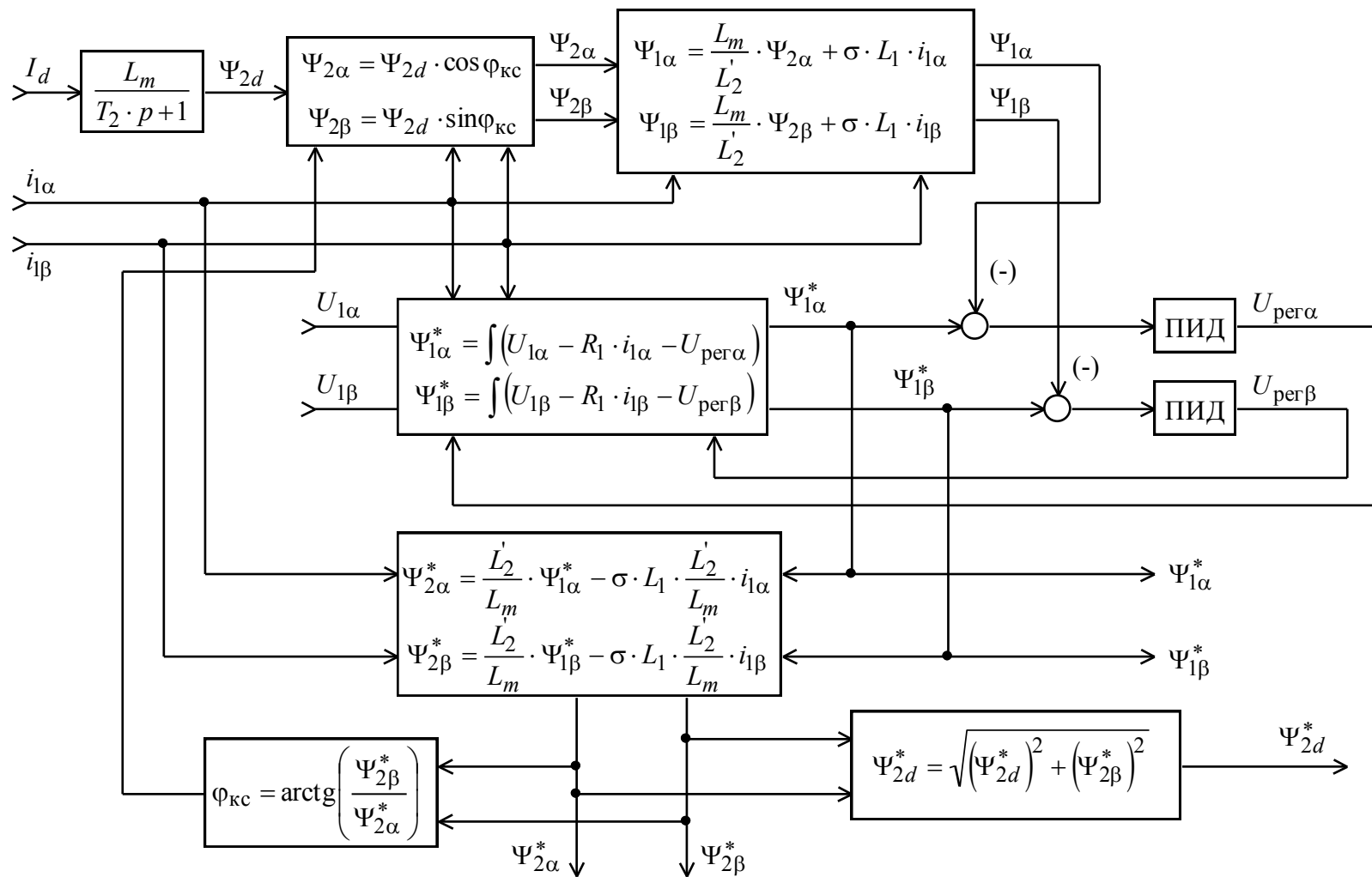


Рисунок 25. Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений токов $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$, I_d и напряжений $U_{1\alpha}$, $U_{1\beta}$

4.2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТОВОГО КРАНА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

4.2.1 ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Работа электропривода крана исследуется в режиме:

Плавный пуск – разгон до частоты 10Гц – выход(разгон) на максимальную скорость – снижение частоты до 10Гц - торможение и останов.

Модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана с векторным управлением

Рассматривается модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана при векторном управлении:

- с импульсным датчиком скорости.

Библиотека моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана с векторным управлением

REP_AD_KranKI_Vect_idc1.mdl – модели асинхронного электропривода крана с частотным векторным управлением на базе модели электрической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель из пакета Simulink системы MATLAB, с датчиками токов i_{1a} , i_{1b} , без датчиков потока и с импульсным датчиком скорости вращения двигателя.

Схемы набора имитационных моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана при векторном управлении приведены в приложении 2.

4.3 ИСХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ САР РЭП

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 6,95 \cdot 10^{-4} + 0,01821 = 0,018905 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 9,354 \cdot 10^{-4} + 0,01821 = 0,0191454 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния магнитного потока:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L'_2} = 1 - \frac{0,01821^2}{0,018905 \cdot 0,0191454} = 0,083824.$$

Эквивалентное сопротивление цепи статора:

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2'^2} = 0,054 + 0,031 \cdot \frac{0,01821^2}{0,0191454^2} = 0,082045 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени статора и ротора:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0,083824 \cdot 0,018905}{0,082045} = 0,019315 \text{ с}.$$

$$T_2 = \frac{L'_2}{R'_2} = \frac{0,0191454}{0,031} = 0,6176 \text{ с}.$$

Период ШИМ:

$$T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{5 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

Напряжение звена постоянного тока преобразователя:

$$U_{d0} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{лфн}}}{\gamma_{\text{макс}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{0,95} = 567,25 \text{ В},$$

где: $\gamma_{\text{макс}} = 0,95$ – максимальное значение коэффициента относительной продолжительности включения ключей инвертора.

Линейное напряжение источника питания преобразователя:

$$U_c = \frac{U_{d0}}{1,35} = \frac{567,25}{1,35} = 420,185 \text{ В.}$$

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя:

$$k_{\text{и}} = \frac{U_{d0}}{\sqrt{3}} = \frac{567,25}{\sqrt{3}} = 327,502$$

Значение номинального потокосцепления двигателя

$$\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 37,042 \cdot 0,01821 = 0,954 \text{ Вб.}$$

Значение номинального тока I_{1d} :

$$I_{1d\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 = \sqrt{2} \cdot 37,042 = 52,385 \text{ А,}$$

Эквивалентный момент нагрузки, приведенный к валу двигателя:

$$M_{\text{эп.макс}} = 1,7M_{\text{дв.н}} + \Delta M_{\text{с.дв}} = 1,7 \cdot 709,721 + 0,697 = 1218 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Значение максимального тока I_{1q} :

$$I_{1q.\text{макс}} = \frac{M_{\text{эп.макс}}}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2\text{н}}} = \frac{1419}{\frac{3}{2} \cdot \frac{0,01821}{0,0191454} \cdot 2 \cdot 0,954} = 260,61 \text{ А.}$$

Модуль вектора тока статора:

$$\text{mod } \vec{I}_{1\text{макс}} = \sqrt{I_{1q\text{макс}}^2 + I_{1d\text{н}}^2} = \sqrt{260,61^2 + 52,385^2} = 265,823 \text{ А.}$$

Максимальный ток электропривода:

$$I_{\text{эп.макс}} = \frac{\text{mod } \vec{I}_{1\text{макс}}}{\sqrt{2}} = \frac{265,823}{\sqrt{2}} = 187,965 \text{ А.}$$

Условие $I_{\text{эп.макс}} \leq I_{\text{и.макс}}$ выполняется:

$$187,965 < 250,5 \text{ А}$$

Принимаем в дальнейших расчетах $I_{\text{эп.макс}} = 200 \text{ А}.$

Параметры настройки контура тока с ПИ-регулятором
и аналоговым датчиком

Принимаем разрядность АЦП датчика тока преобразователя:

$$n_{\text{ацп.дт}} = 12.$$

Принимаем максимальное значение измеряемого тока (амплитудное значение переменного тока):

$$I_{\text{изм.макс}} = \sigma_{\text{т}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 200 = 400 \text{ А},$$

где $\sigma_{\text{т}} \geq 1,2$ – коэффициент, учитывающий возможное увеличение тока за счет перерегулирования.

Коэффициент передачи датчика тока:

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{0,5 \cdot 2^{12}}{400} = 4,827 \text{ I/A}.$$

Принимаем $N_{\text{от.макс}} = 1$.

Коэффициент обратной связи по току:

$$k_{\text{т}} = \frac{1}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{1}{400} = 0,002357 \text{ I/A}.$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура тока:

$$k_{\text{ос.т}} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{12}} = \frac{1}{2048} = 4,883 \cdot 10^{-4}.$$

Максимальное значение задания на входе контура тока, соответствующее максимальному действующему значению тока электропривода $I_{\text{эп.макс}}$:

$$N_{\text{зт.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}}}{I_{\text{изм.макс}}} = k_{\text{т}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 200}{400} = 0,667.$$

Принимаем: $T_{\text{ос.т}} = T_{\text{пк.т}} = T_{\text{зу.и}} = T_{\text{шим}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с},$

где: $T_{\text{ос.т}}$ – интервал квантования сигналов в цепи обратной связи контура тока; $T_{\text{пк.т}}$ – интервал квантования управления в прямом канале контура тока; $T_{\text{зу.и}}$ – интервал времени задержки подачи управления от регулятора тока к ключам инвертора.

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения тока $T_{\text{ф.от}} = 0$.

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_t = 2.$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_{\text{мтэ}} = \frac{T_{\text{ос.т}}}{n_t} + T_{\text{зу.и}} + T_{\text{ф.от}} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2} + 2 \cdot 10^{-4} + 0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Принимаем коэффициент типовой настройки контура тока на модульный оптимум (МО): $a_t = 2$.

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_{\text{рт}} = T_{\text{лэ}} = 0,019315 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора тока:

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{\text{лэ}} \cdot R_{\text{лэ}}}{k_{\text{и}} \cdot k_t \cdot a_t \cdot T_{\text{мтэ}}} = \frac{0,019315 \cdot 0,082045}{327,502 \cdot 0,02357 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 3,421.$$

$$T_t = a_t \cdot T_{\text{мтэ}} = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора тока I_{1d} :

$$N_{\text{рtd доп}} = 1.$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора тока $I_{\text{лq}}$:

$$N_{\text{ртq доп}} = \sqrt{1^2 - N_{\text{рtd}}^2} = \sqrt{1^2 - 1^2} = 0.$$

Параметры контура потокосцепления с ПИ-регулятором без датчика

Разрядность АЦП датчика потока

$$n_{\text{ацп.д}\Psi} = 12.$$

Максимальное значение измеряемого потока

$$\Psi_{2\text{изм.макс}} = \sigma_{\Psi} \cdot \Psi_{2\text{н}} = 1,048 \cdot 0,954 = 1 \text{ Вб},$$

где $\sigma_{\Psi} = 1,048$ – коэффициент, учитывающий возможное увеличение потокосцепления за счет перерегулирования.

Коэффициент передачи датчика потока:

$$k_{\text{д}\Psi} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.д}\Psi}}}{\Psi_{2\text{изм.макс}}} = \frac{0,5 \cdot 2^{12}}{1} = 2048 \text{ 1/Вб}.$$

$$\text{Принимаем: } N_{\text{о}\Psi.\text{макс}} = 1.$$

Коэффициент обратной связи по потоку:

$$k_{\Psi} = \frac{1}{\Psi_{2\text{изм.макс}}} = \frac{1}{1} = 1 \text{ 1/Вб}.$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура потокосцепления:

$$k_{\text{ос.}\Psi} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.д}\Psi}}} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{12}} = 4,883 \cdot 10^{-4}.$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура потокосцепления:

$$N_{3\Psi \text{ макс}} = \frac{\Psi_{2\text{н}}}{\Psi_{2\text{изм.макс}}} = k_{\Psi} \cdot \Psi_{2\text{н}} = \frac{0,954}{1} = 0,954.$$

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура потока:

$$T_{\text{ос.}\Psi} = T_{\text{пк.}\Psi} = 10 \cdot T_{\text{шим}} = 10 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения потока $T_{\text{ф.о}\Psi} = 0$.

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_{\Psi} = 1.$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура потокосцепления:

$$T_{\mu\Psi} = T_{\tau} + \frac{T_{\text{ос.}\Psi}}{n_{\Psi}} + T_{\text{ф.о}\Psi} = T_{\tau} + \frac{T_{\text{ос.}\Psi}}{n_{\Psi}} + T_{\text{ф.о}\Psi} = 6 \cdot 10^{-4} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1} = 0,0026 \text{ с.}$$

Принимаем коэффициент типовой настройки контура потокосцепления на модульный оптимум (МО): $a_{\Psi} = 2$.

Постоянная времени регулятора:

$$T_{\text{р}\Psi} = T_2 = 0,6176 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{\text{р}\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_{\tau}}{L_m \cdot k_{\Psi} \cdot a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi}} = \frac{0,6176 \cdot 0,02357}{0,01821 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,0026} = 15,373.$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потока:

$$N_{\text{р}\Psi \text{ доп}} = N_{\text{зт. макс}} = 0,667.$$

Параметры контура скорости с ПИ-регулятором с импульсным датчиком скорости

Максимальное значение измеряемой скорости:

$$\omega_{\text{изм. макс}} = \sigma_{\text{с}} \cdot \omega_{\text{эп. макс}} = 1,29 \cdot 77,456 = 100 \text{ рад/с},$$

где $\sigma_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий возможное увеличение скорости за счет перерегулирования.

Принимаем $N_{\text{ос. макс}} = 1$.

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$k_{\text{с}} = k_{\text{ос.с}} = \frac{1}{\omega_{\text{изм. макс}}} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ с/рад.}$$

Значение максимального задания на входе контура скорости:

$$N_{\text{зс.макс}} = \frac{\omega_{\text{эп.макс}}}{\omega_{\text{изм.макс}}} = \frac{77,456}{100} = 0,775$$

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура скорости:

$$T_{\text{ос.с}} = T_{\text{пк.с}} = 10 \cdot T_{\text{шим}} = 10 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения скорости $T_{\text{ф.ос}} = 0$.

Коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_c = 2.$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости:

$$T_{\text{мсэ}} = T_{\text{т}} + \frac{T_{\text{ос.с}}}{n_c} + T_{\text{ф.ос}} = 6 \cdot 10^{-4} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2} + 0 = 0,0016 \text{ с.}$$

Принимаем коэффициенты типовой настройки контура скорости на симметричный оптимум (СО) : $b_c = a_c = 2$.

Постоянная времени регулятора:

$$T_{\text{рс}} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\text{мсэ}} = 2 \cdot 2 \cdot 0,0016 = 0,0064 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{\text{рс}} = \frac{J_{\text{э}} \cdot k_{\text{т}}}{\Psi_{2\text{н}} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\text{м}}}{L'_2} \cdot z_{\text{р}} \cdot k_{\text{с}} \cdot a_c \cdot T_{\text{мсэ}}} = \frac{3,521 \cdot 0,02357}{0,954 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,01821}{0,0191454} \cdot 4 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 0,0016} = 47,639$$

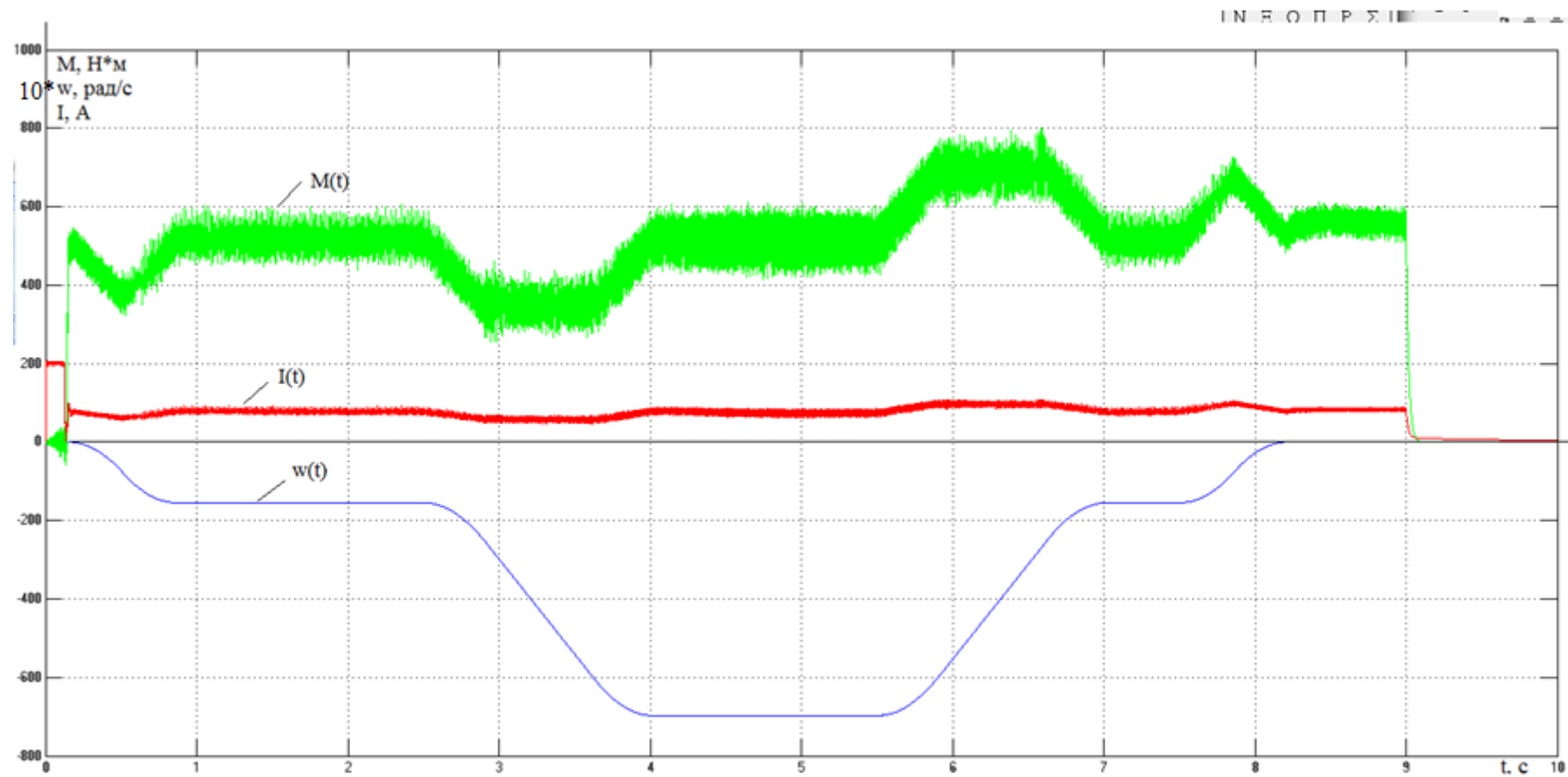


Рисунок 26 – Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при спуске краном груза массой 20 т.

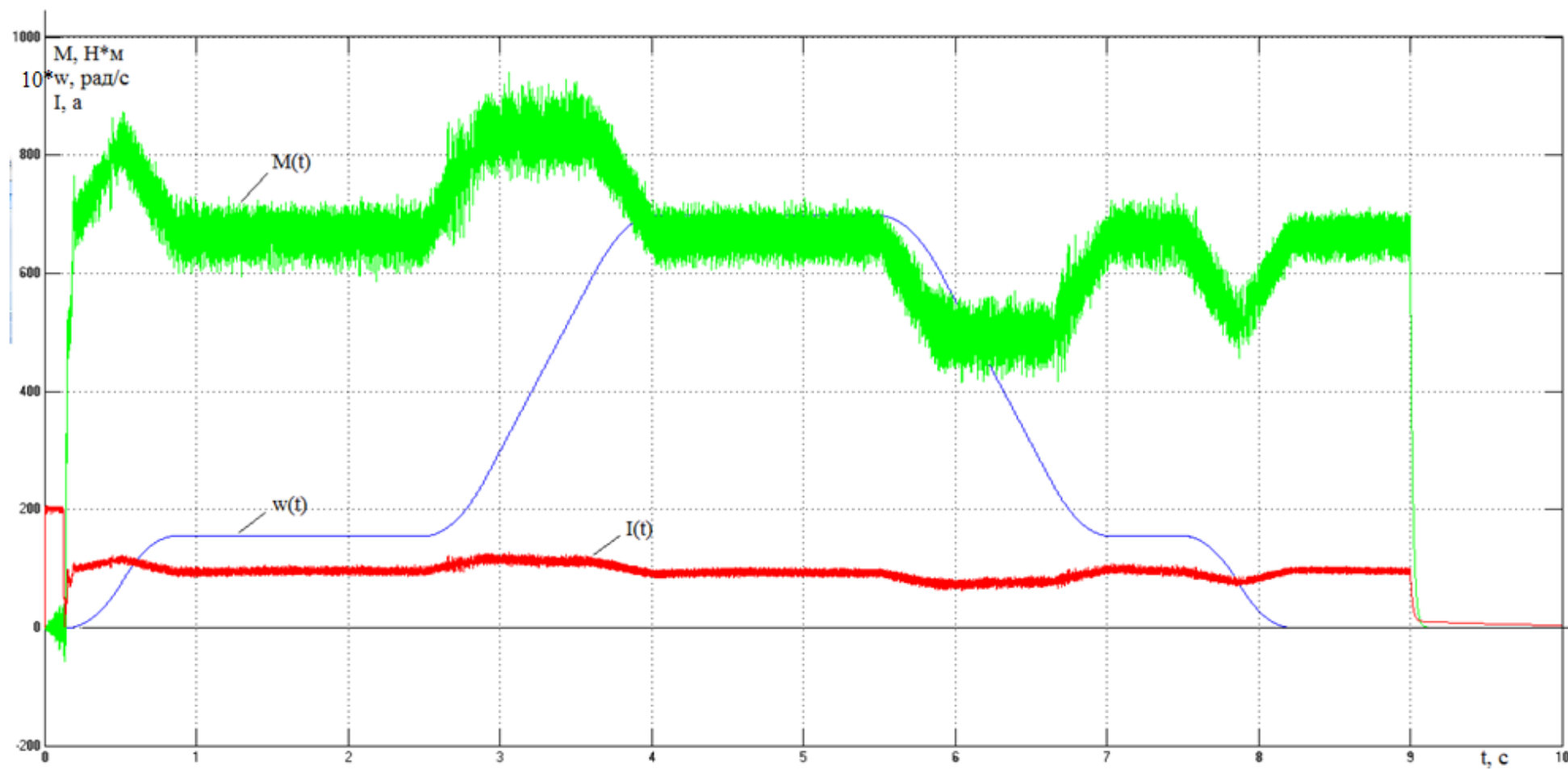


Рисунок 27– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при подъеме краном груза массой

20 т.

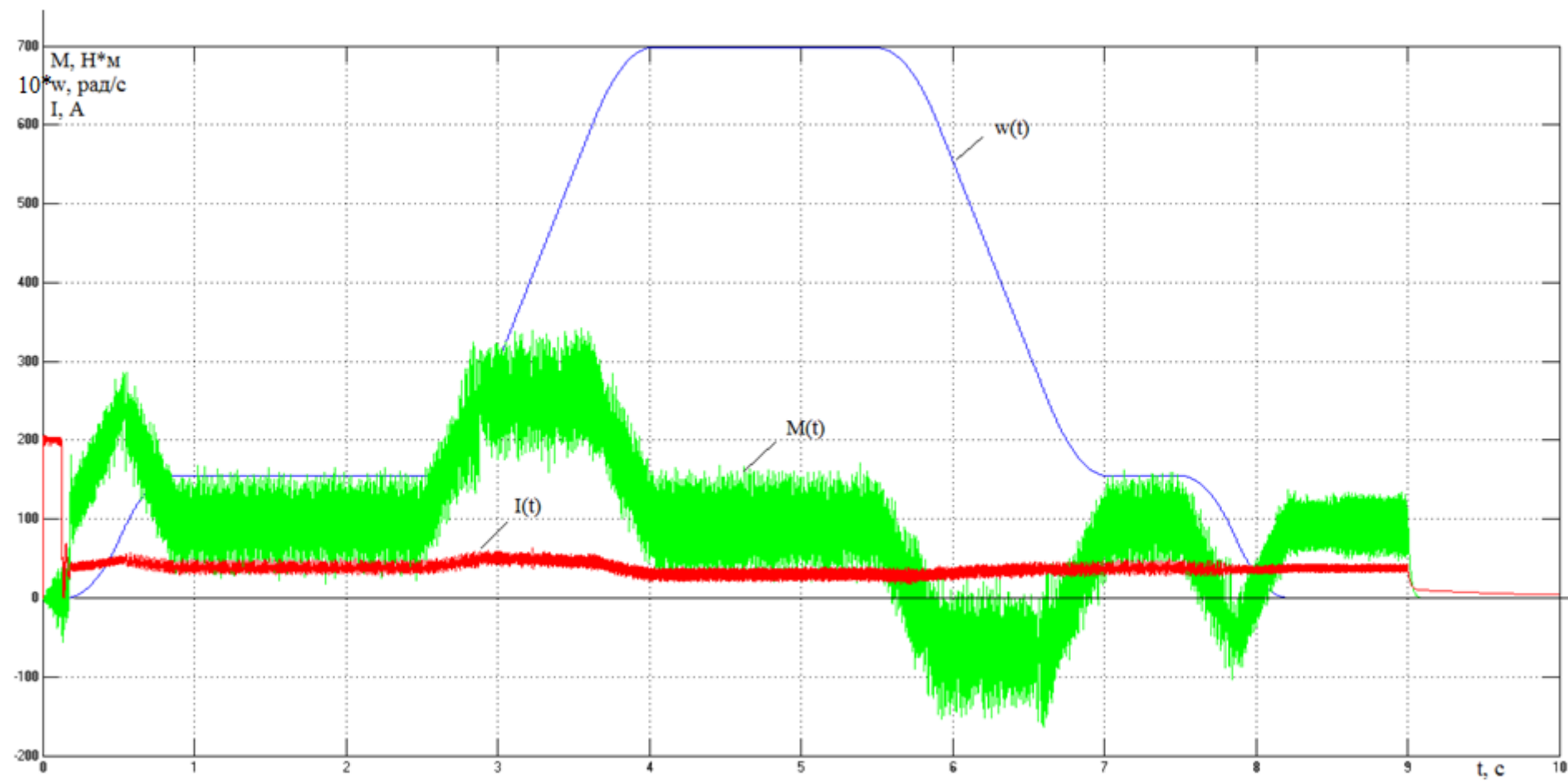


Рисунок 28– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при подъеме краном пустого крюка

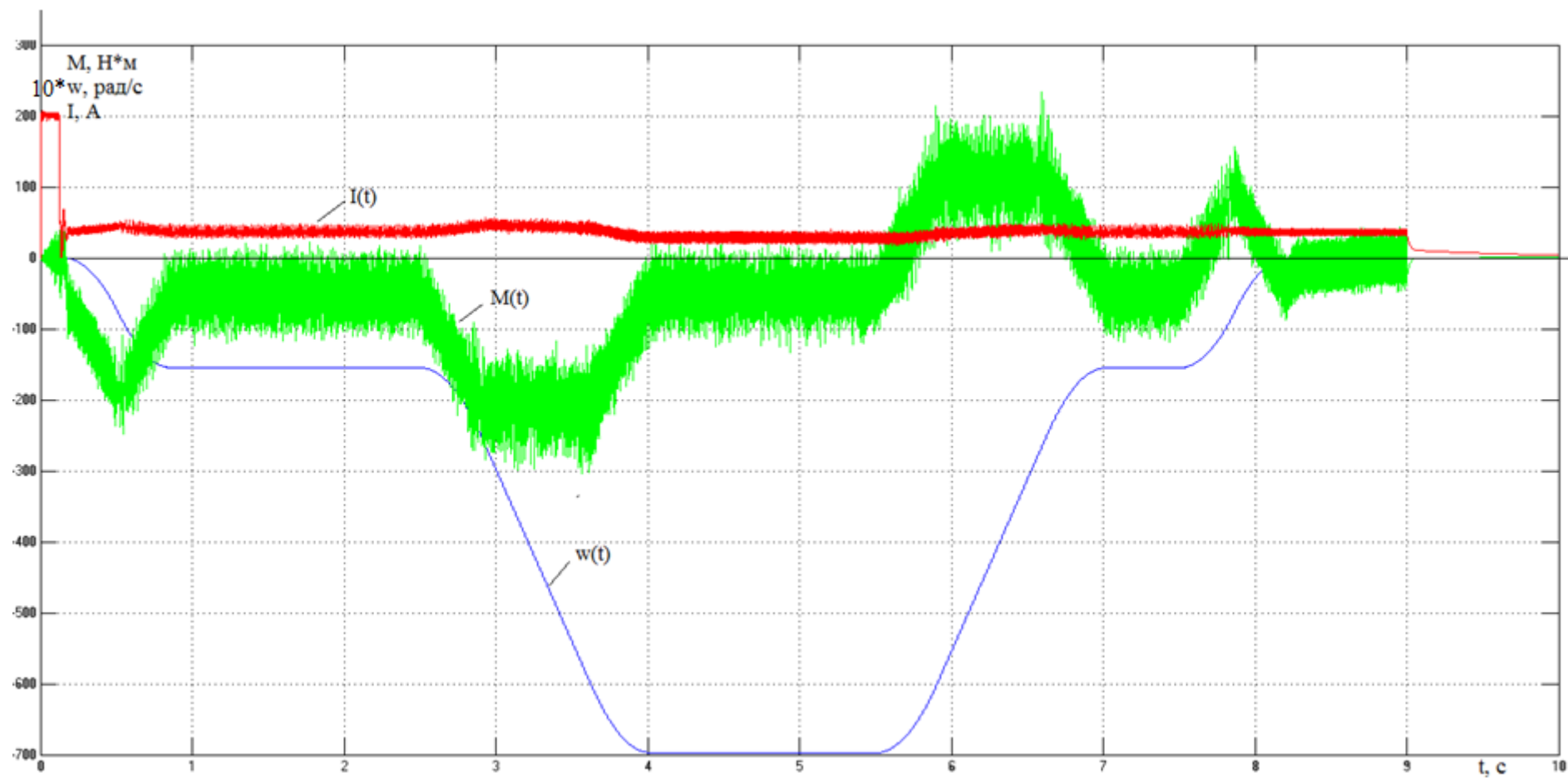


Рисунок 29– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при спуске краном пустого крюка

Вывод к разделу:

Преимущества векторного метода управления асинхронным двигателем:

- Высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала, несмотря даже на возможное отсутствие датчика скорости;
- Осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно;
- Установлен датчик скорости, с помощью его достигли номинального значения момента на валу даже при нулевом значении скорости;
- Быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода;
- Высокий уровень КПД двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

Несмотря на очевидные преимущества, метод векторного управления имеет и определенные недостатки – большая сложность вычислений, для работы необходимо знание параметров двигателя. Помимо всего прочего колебания значения скорости при постоянной нагрузке значительно больше, нежели при скалярном методе управления. Кстати, существуют такие сферы, где используются электроприводы исключительно со скалярным методом управления. К примеру, групповой электропривод, в котором один преобразователь подпитывает несколько двигателей.

На рисунках 26-29 можно заметить значительные изменения, пульсации тока, момента заметно уменьшились, а переходный процесс скорости происходит без колебаний и скачков как с максимальным грузом, так и без него. По этому в связи с такими выводами, можно сказать, что векторное управление для электропривода мостового крана удовлетворяет всеми условиями технического задания.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А1	Кукушкин Николай Николаевич

Школа	Инженерная школа энергетиков	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Электропривод механизма подъемной лебедки крана КМ20, применяемого для выполнения крановщиком погрузочно-разгрузочных работ, монтажа, демонтажа и ремонта оборудования, перемещения грузов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	1. Отклонение параметров микроклимата 2. Повышенный уровень вибрации 3. Повышенный уровень шума 4. Недостаток необходимого освещения 1. Движущиеся машины и механизмы 2. Поражение электрическим током 3. Падение с высоты
2. Экологическая безопасность	

	Загрязнение окружающей среды смазочными материалами. Проведение мероприятий по утилизации.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	1. Аварии, связанные с поломкой крана 2. Пожар
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы, предусмотренные спецификой выполняемых работ. Эргономика кабины крана и ее оснащение.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5ГЗА1	Кукушкин Николай Николаевич		

Введение.

Рабочее место крановщика – кабина крана, являющаяся ограниченным рабочим пространством. Правильная, научно обоснованная организация рабочего места, учитывающая физиологические особенности организма человека и конкретные условия эксплуатации крана, способствует повышению производительности труда машиниста. Поэтому при организации рабочего места машиниста учитываются эргономические показатели кабины управления оптимальные значения параметров микроклимата, освещенность рабочей площадки и т. п. Конструкция кабины должна обеспечивать хороший обзор любой точки рабочей площадки, защиту машиниста от избыточного тепла, шума и вибраций, электробезопасность, легкость и удобство управления краном.

Производственная безопасность

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1)погрузочно-разгрузочные работы 2)монтаж, демонтаж, ремонт оборудования 3)перемещение грузов.	1. Отклонение параметров микроклимата 2. Повышенный уровень вибрации 3. Повышенный уровень шума 4. Недостаток необходимого освещения	1. Движущиеся машины и механизмы 2. Поражение электрическим током 3. Падение с высоты	Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в кабине управления должны соответствовать ГОСТ 12.2.130-91 Допустимые скорректированные значения

			<p>виброускорения не должны превышать значений согласно ГОСТ 12.1.012-90</p> <p>Уровень шума согласно ГОСТ 12.1.003.83 не должен превышать 80 дБА</p> <p>Нормы освещенности должны удовлетворять требованиям ГОСТ Р 55710-2013</p>
--	--	--	--

5.1. АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВОЗНИКНУТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Отклонение параметров микроклимата

При проведении работ происходит выделение диоксида углерода, паров влаги и тепла от работника. Также следует учесть условия солнечной инсоляции, которые в летнее время года приводят к избыточному теплу, особенно в летнее время года, а при проведении работ в зимнее время, напротив, возможен недостаток тепла.

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в кабине управления должны соответствовать для категорий работ средней тяжести Па и Пб значениям, указанным в табл.6.

Таблица 6

Сезон года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый период	Не выше +31	25-75	0,2-0,7
Холодный и переходный периоды	От +15 до +23	25-75	0,3-0,4

Примечание. Вертикальный и горизонтальный перепад температур не должен превышать 4 °С.

В районах с повышенной относительной влажностью наружного воздуха допускается для теплого периода года относительная влажность в кабине на 10% выше установленной в табл.1. Температура металлических поверхностей стен внутри кабины на высоте не более 0,5 м не должна превышать 35 °С.

Отклонение условий микроклимата может привести к резкому снижению работоспособности и даже к профессиональным заболеваниям.

Перегрев. При температуре воздуха более 30 °С и значительном тепловом излучении от нагретых поверхностей наступает нарушение терморегуляции организма, что может привести к перегреву организма, особенно если потеря пота в смену приближается к 5 л. Наблюдается нарастающая слабость, головная боль, шум в ушах, искажение цветного восприятия, тошнота, рвота, повышается температура тела. Дыхание и пульс учащаются, артериальное давление вначале возрастает, затем падает. В тяжелых случаях наступает тепловой, а при работе на открытом воздухе — солнечный удар. Возможна судорожная болезнь, являющаяся следствием нарушения водно-солевого баланса и характеризующаяся слабостью, головной болью, резкими судорогами.

Охлаждение. Длительное и сильное воздействие низких температур может вызвать различные неблагоприятные изменения в организме человека. Местное и общее охлаждение организма является причиной многих

заболеваний: миозитов, невритов, радикулитов и др., а также простудных заболеваний. В особо тяжелых случаях воздействие низких температур может привести к обморожениям и даже смерти.

Повышенная влажность воздуха (более 75...85%) в сочетании с низкими температурами оказывает значительное охлаждающее действие, а в сочетании с высокими — способствует перегреванию организма.

Относительная влажность менее 25% также неблагоприятна для человека, так как приводит к высыханию слизистых оболочек и снижению защитной деятельности мерцательного эпителия верхних дыхательных путей.

Для обеспечения допустимых параметров микроклимата необходимо использование вентиляции и отопления. Вентиляция в кабине крановщика применяется, как правило, приточно - вытяжная с использованием осевого вентилятора. Отопление осуществляется с помощью электрических нагревательных приборов. В новейших разработках получила применение система кондиционирования воздуха.

Повышенный уровень вибрации

Источником вибрации при работе кранов является электропривод кранового механизма и передаточные устройства.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека: повышение утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений, что ведет к снижению работоспособности и производительности труда, соответственно, а также происходит развитие нервных заболеваний, нарушение функций сердечно-сосудистой системы, нарушение функций опорно-двигательного аппарата, поражение мышечных тканей и суставов,

нарушение функций органов внутренней секреции, что влечет за собой возникновение вибрационной болезни.

Допустимые скорректированные значения виброускорения не должны превышать значений, приведенных в табл.7.

Таблица 7

Вид вибрации	Допустимые скорректированные значения виброускорения, м/с
Общая категория: на сиденье машиниста в направлении*	0,27
Локальная: на рукоятках управления в направлении движения руки	2,0

* Технически достижимая вибрационная характеристика должна быть не более 0,54 м/с .

К мероприятиям по защите от вредного воздействия вибрации относят установку демпфированных подвесок кабин управления или кресла крановщика.

Повышенный уровень шума

В кабине крановщика преобладает шум механического происхождения, возникающий в результате работы механизма крана, а так же бульдозерами и тягачами, которые используются при проведении погрузочно-разгрузочных, монтажных и прочих работ.

Воздействие шума является причиной повышенной утомляемости, потери слуха, снижения производительности труда.

Уровень звука, излучаемый экскаватором в окружающую среду в контрольной точке и на рабочем месте, не должен превышать 80 дБА по ГОСТ 12.1.003.

Недостаток необходимого освещения

Недостаточная освещенность рабочей зоны может вызвать ослепленность или привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности и существенному повышению риска травматизма.

Согласно ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест должно удовлетворять следующим табличным данным:

Таблица 8 – Нормы освещенности погрузочно-разгрузочной зоны

Наименование помещения	$E_{\text{экс}}$, лк
Погрузочно-разгрузочные зоны	150

Для соблюдения требуемых норм освещенности целесообразно применение дополнительных источников освещения.

5.2. АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВОЗНИКНУТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Движущиеся машины и механизмы

Основными видами опасности, воздействующими на крановщика, являются:

-Механические виды опасности, связанные с подъемными операциями грузоподъемными кранами и машинами, грузозахватными приспособлениями, тарой и люльками;

-Опасность, вызванная поступательным движением машины, грузовых тележек: движение во время запуска двигателя; движение при отсутствии машиниста на своем месте; движение при отсутствии надежного закрепления всех составных частей, деталей; чрезмерно высокая скорость крана, машины, грузовой тележки, управляемых с пола; слишком высокие колебания крана (груза) при движении; недостаточная способность крана или машины к замедлению, выключению, остановке и удержанию.

Для защиты персонала необходимо, чтобы движущиеся части были закрыты кожухами, а так же исправное состояние тормозов и правильная регулировка подвижных механизмов, обеспечением которых выступает соблюдение графиков ТО и своевременное проведение ремонтных работ механизмов.

Поражение электрическим током

Применяемое в производственном процессе электрооборудование напрямую влечет за собой возможность поражения электрическим током, последствия которого могут быть в виде ожогов участков кожи тела, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон, электролиза крови, и как следствие, нарушения нормального функционирования организма, а также опасного возбуждения клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

Крановщик должен быть обеспечен защитными средствами: изоляционными перчатки, изоляционными галоши и ковриками, а также строго следовать инструкции электробезопасности.

Падение с высоты

Возможность возникновения несчастных случаев, связанных с падением с высоты при проведении ремонтных работ, обслуживающих мероприятий крана напрямую связана с нарушением техники безопасности, инструктажей работником.

Так техническое обслуживание, осмотр, регулировка и ремонт частей крана, расположенных на высоте более 4,0 м, разрешается выполнять только при наличии у крановщика предохранительного пояса или при условии, что он находится внутри металлоконструкций и опирается на лестницу.

2. Экологическая безопасность.

В процессе эксплуатации крана возможно загрязнение окружающей среды смазочными материалами.

Для того чтобы исключить или минимизировать вред, требуется, во-первых, проводить своевременные регламентные работы по техническому обслуживанию и ремонту кранов.

Во-вторых, оперативно, квалифицированно и своевременно ликвидировать источники загрязнения при их возникновении.

Что касается электроприводов, то они рассчитаны на длительный срок службы, по истечении которого должны быть утилизированы.

Утилизируемые электроприводы демонтируются, разбираются и сортируются по различным материалам: отходы электронных деталей, черные и цветные металлы, смазочные материалы.

При утилизации должны соблюдаться следующие правила:

- отсортированные материалы устраняются через упорядоченную систему утилизации, с соблюдением местных правил;

- при утилизации должны быть выдержаны нормы охраны окружающей среды;

- смазочные материалы представляют опасность загрязнения водных ресурсов, поэтому не должны попасть в окружающую среду.

5.3. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.

При эксплуатации крана возможны различные аварийные ситуации, связанные с поломкой и выходом из строя: спадания канатов с барабана или блоков, образовании на канатах петель или обнаружения повреждения канатов, неисправности приборов и устройств безопасности. В случае их возникновения крановщик обязан прекратить работу и сообщить ремонтной службе.

Наиболее опасной для жизни и здоровья работника является ЧС в виде пожара. Причинами тому может стать халатное отношение работника к технике пожарной безопасности, использование недопустимого оборудования, не соблюдение графика проведения ремонтных и обслуживающих транспортных средств работ, наличие работающего электрооборудования, которое также необходимо обслуживать и эксплуатировать в исправном состоянии.

При возникновении на кране пожара, крановщик должен немедленно отключить рубильник в кабине, через наземных рабочих вызвать пожарную охрану и приступить к тушению пожара имеющимися на кране противопожарными средствами (порошковым огнетушителем, песком). После

ликвидации пожара запрещается включать кран до проверки и разрешения ремонтного персонала.

5.4. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.

Специальные правовые нормы трудового законодательства.

До работ на кране допускаются только обученные и аттестованные крановщики не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 8 классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по причинам сезонного и (или) технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года. При этом продолжительность рабочего времени за учетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

При проведении работ в зимнее, то согласно ст 109 ТК РФ крановщик имеет право на перерывы на обогрев, которые входят в рабочее время.

Согласно ст.117 ТК РФ крановщику предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в силу условий труда, минимальная продолжительность которого составляет 7 календарных дней.

Согласно ст. 329 ТК РФ работникам, труд которых непосредственно связан с управлением транспортными средствами или управлением движением транспортных средств, не разрешается работа по совместительству, непосредственно связанная с управлением транспортными средствами или управлением движением транспортных средств.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Для подъема на рабочее место машиниста на экскаваторе должна быть установлена безопасная лестница с высотой перил от поверхности ступени 850-950 мм.

Дверной проем должен иметь высоту не менее 1900 мм, ширину не менее 650 мм (для исполнения ХЛ - не менее 750 мм) с учетом уплотнения. Запорное устройство и уплотнение должны обеспечивать герметичность и безотказное открывание и закрывание двери.

Кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении, в том числе за счет профилирования спинки и сиденья, а также обеспечивать условия для отдыха.

Кресло должно иметь следующие основные размеры, мм:

ширина поверхности сиденья, не менее	400
глубина поверхности сиденья	400-420
высота спинки, не менее	500
ширина опорной поверхности спинки, не менее	400
регулируемая высота поверхности сиденья от уровня установки ног	360-450
горизонтальное (продольное) регулирование, не менее	100
высота подлокотников, мм	200-240
ширина подлокотников, не менее, мм	50
длина подлокотников, мм	250-300

Кроме того кабина крановщика должна быть оборудована средствами или устройствами:

1) для предотвращения запотевания и обмерзания стекол при температуре наружного воздуха до минус 40 °С, по требованию заказчика для исполнения ХЛ по ГОСТ 15150 - до минус 55 °С;

2) для защиты глаз машиниста от прямых солнечных лучей (солнцезащитные козырьки, тонированные стекла и др.);

3) для очистки наружной поверхности лобового стекла от загрязнения и атмосферных осадков, обеспечивающими рациональные зоны очистки;

4) для установления, регулирования и поддержания комфортных микроклиматических условий;

5) для аварийного покидания кабины.

Остекление кабины должно быть устойчивым к механическому воздействию по ГОСТ 5727-88. Окна должны иметь форточки или частично открываться. Стекла по периметру должны иметь вибродемпфирующую прокладку.

Список литературы:

ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий

ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы.
Классификация

ГОСТ 21753-76 Система "человек-машина". Рычаги управления. Общие эргономические требования (с Изменением N 1)

ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Оборудование производственное. Общие эргономические требования

ГОСТ 5727-88 Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3)

ГОСТ 12.1.003-83 ШУМ. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.012-90 ВИБРАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. Общие требования

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А1	Кукушкин Николай Николаевич

Институт	Инженерная школа энергетиков(ИШЭ))	Кафедра	Электропривод и электрооборудование
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. Планирование и формирование бюджета проектной работы
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка технического уровня новшества
2. Смета затрат
3. Линейный график

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Кукушкин Николай Николаевич		

6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Важнейшим фактором успешного функционирования любого промышленного предприятия, в рамках жесткой конкуренции с отечественными и иностранными производителями, является постоянное совершенствование технологии и продукции. Новые технологии и модернизация это необходимый фактор для успешного продвижения продукции. Современный рынок требует от отечественного производителя коренной реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий производства с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и соответственно появление новых видов продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требует от товаропроизводителя совершенствовать и внедрять новое технологическое оборудование.

Данный раздел выпускной квалификационной работы посвящен выбору наиболее выгодного варианта электропривода для рассматриваемого объекта автоматизации. В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществами такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока являются:

1. более низкая стоимость;
2. минимальные затраты на обслуживание;
3. обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Это важно для рассматриваемого применения, так как оно связано с высокой концентрацией угольной пыли в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP54.

6.1 ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ (ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ) СХЕМЫ

ЭЛЕКТРОПРИВОДА.

Выбор структурной схемы сводится к сравнению нескольких возможных вариантов и выбору наиболее оптимальной.

I вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

II вариант: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

Выбор наиболее оптимальной структурной схемы представлен в таблице 9

Таблица 9

	Варианты		Примечания: (преимущества недостатки)
	I	II	
1. Общее количество составных частей	4	4	
2. Количество типов элементов	4	4	
3. Количество оригинальных элементов	2	2	
4. Стоимость покупных комплектующих		Стоимость в 2 раза меньше	Простота конструкции
5. Показатели надежности		Надежность, простота обслуживания	Отсутствие щеточного аппарата
6. Питание:			
а) вид	U=380 В	U=380 В	
б) мощность	P=90 кВт	P=55 кВт	
7. Габариты		Меньше в 2 раза	
8. Масса		Легче в 2 раза	

Для проведения оценки выбраны следующие показатели:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;
4. завышение мощности электропривода;
5. уровень затрат на эксплуатацию;
6. коэффициент мощности;
7. генерирование помех;

Коэффициент весомости критериев представлен в таблице № 10

Таблица № 10

Номер критерия	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент весомости	1 .0	0 .8	0 .6	0 .3	0 .4	0 .2	0 .1

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

Уровень цели	низкий	средний	высокий
Оценка обеспечения цели	1.0	0.5	0

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 11.

Таблица 11

Номер варианта	Групповой критерий							Общая оценка качества
	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1	
I	0,5	0	0,5	0	0.5	0,5	0.5	1,15
II	1,0	0,5	1,0	0	0.5	0	0.5	2,25

Из таблицы 11 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте II.

6.2 АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПРОЕКТА (НТУ)

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i ,$$

где

k_i – весовой коэффициент i – го признака;

$П_i$ – количественная оценка i – го признака.

Весовые коэффициенты НТУ представлены в таблице № 12

Таблица № 12

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Шкала оценки новизны представлены в таблице № 12

Таблица № 13

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Значимость теоретических уровней представлены в таблице № 13

Таблица № 13

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Возможность реализации по времени и масштабам представлена в таблице № 14

Таблица 14

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, P_1 = 6, k_2 = 0.4, P_2 = 7,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$HTY = 0.6 \cdot 6 + 0.4 \cdot 7 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 9.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

6.3 ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ

Планирование проекта – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов.

Основные задачи:

1. Взаимная увязка работ проекта;
2. Согласование выполнения отдельных этапов работ во времени, определение их длительности и обеспечение их выполнения в установленные сроки;
3. Определение общего объема работ и потребных для его выполнения денежных, материальных и трудовых ресурсов;
4. Распределение общего объема работ между исполнителями.

Графический метод планирования.

При графическом методе планирования на основе расчета трудоемкости и календарной продолжительности выполнения всех включенных в план работ с учетом их взаимосвязи и последовательности выполнения во временном

масштабе (соответствующим производственному календарю планируемого года) строится графическая модель комплекса работ в виде линейной диаграммы, в которой положение и длина каждой линии характеризует дату начала (окончания) и продолжительность выполнения каждой работы. На основе линейного графика определяется общая продолжительность всего комплекса работ.

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ.

Типовое содержание проектных работ представлены в таблице № 15

Таблица 15

Содержание работ	Продолжительность работ, ожид/день			Исполнители
	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$	
1. Разработка ТЗ на проектирование	3	5	3	РП, И.
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	4	5	5	РП, И.
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	13	20	17	РП, И.
4. Кинематическая схема механизма	5	10	8	РП, И.
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	12	15	14	РП, И.
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	3	5	5	РП, И.
7. Выбор способа регулирования скорости	7	10	9	РП, И.
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь—электродвигатель»	6	10	8	РП, И.

9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	24	30	30	РП, И.
10. Оптимизация САР электропривода	20	25	23	РП, И.
11. Разработка программы имитационного моделирования	10	15	12	РП, И.
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	6	10	10	РП, И.
13. Техничко-экономические расчеты	8	13	10	РП, И.
14. Составление пояснительной записки	35	45	40	РП, И.
15. Разработка графического сопровождения проекта	20	25	25	РП, И.

РП – руководитель проекта;

И – инженер.

График выполнения работ по дням составлен на год с учетом всех выходных, предпраздничных и праздничных дней. Общее количество рабочих дней = 250, которые требуются на выполнение данного проектирования.

6.4 РАСЧЕТ СМЕТЫ ЗАТРАТ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ.

Расчет сметы затрат на выполнение проекта, частью которого является ВКР, студента-дипломника, рекомендуется осуществлять методом сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов (таблица 8).

Смета затрат на проектирование представлена в таблице № 16

Таблица 16

Статьи расхода	Сумма	Примечания
	руб	
1. Материалы, покупные п/ф и комплектующие изделия	55000	
2. Специальное оборудование	44000	Стенды, приборы, установки, программы
3. Основная заработная плата научно-производственного персонала	200000	Трудоемкость нормо-д, Стоимость 1-го нормо-д.
4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	24000	12% от ст.3
5. ЕСН	67200	30%(ст.3+ст.4)
6. Расходы на научные и производственные командировки	15680	7% от(ст.3+ст.4)
7. Расходы и услуги сторонних организаций	32000	
8. Накладные расходы	140000	70% от ст.3
9. Плановая прибыль	30184	7% от (ст.3+4+5+8)
10.Годовая сметная стоимость проекта	608064	

По результатам расчетов строим гистограмму :

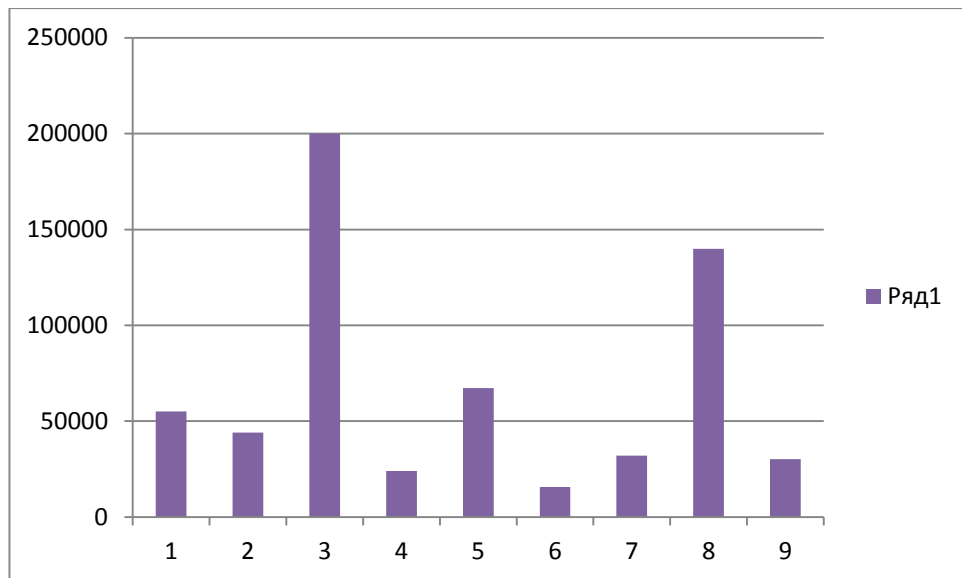


Рисунок 30 - Гистограмма затрат на проектирование

6.5 Расчет капитальных вложений на реализацию проекта.

Капитальные вложения (инвестиции в реальные активы предприятия) включают:

- Затраты на предпроектные работы;
- Затраты на приобретение, доставку, установку и наладку оборудования;
- Сопряженные затраты
- Затраты на пополнение оборотных средств.

Расчет капитальных вложений оформлен в виде таблицы 17:

Таблица 17

	Кол- во	Цена, руб	Общая стоимость, руб
I. Оборудование:			
Электродвигатель	1	101905	101905
5AI280S8 ¹	1	264279	264279
Преобразователь		73237	73237
ALTIVAR 71HD75N4 ²			
Пуско-регулирующая аппаратура (20% стоимости некомплектного оборудования)			
II. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I.		65913	65913
Комплектный привод (6%)		10107	10107
Некомплектный (15%)		6591	6591
III. Транспортно- заготовительные расходы 2%(I+II)		608064	608064
IV. Плановые накопления монтажной организации (10%) от II			
V. Сметная стоимость проектно конструкторских работ			
Всего затрат			1130096

¹ <http://felectro.ru/elektrodvigateli/asinhronnye-elektrodvigateli-air-5ai>

² <http://www.vashdom.ru/browse2089605-chastotnyi-preobrazovatel-altivar-71-75kvt-480v-art-atv71hd75n4-schnei.htm>

Были рассчитаны капитальные вложения необходимые для реализации проекта с учетом цен действительных на 14 марта 2017 года.

6.6 РАСЧЕТ РАСХОДОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

Расчеты отдельных статей эксплуатационных расходов ведутся по формулам:

- Расчет стоимости силовой электроэнергии

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}},$$
$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{55 \cdot 6300 \cdot 0,65 \cdot 0,6 \cdot 0,7}{0,94 \cdot 0,93} = 108207 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где:

$P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6–0.7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6–0.8);

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7–0.8);

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92–0.95);

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9–0.93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \cdot C_{\text{э}},$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт·часа электроэнергии для промышленных предприятий. $C_{\text{э}}$ - одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию составляет 2,60руб/кВт·ч для Томской области., введенный с 1 января 2017г.

$$C_{\text{эн}} = 108207 \cdot 2,60 = 281338 \text{ руб}$$

Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100},$$

где

K – капитальные вложения в электрооборудование;

H_A – проценты отчислений на амортизацию.

- Электродвигатели – 9.6%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 101905 \cdot 0,096 = 9783.$$

- Преобразователи – 3.5%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 264279 \cdot 0,035 = 9250.$$

- Электропривод – 9.6%

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 366184 \cdot 0,096 = 35153.$$

Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов.

Оборудование электроприводов (электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) является ремонтируемым. Оно подвергается планово-предупредительным ремонтам, периодичность и объем которых регламентируется системой ППР и сетей промышленной энергетики.

Затраты на ППР электропривода

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}},$$

где:

$C_{\text{зар}}=96$ руб·час – заработная плата ремонтных рабочих;

$C_{\text{м}}=84$ руб·час – стоимость материалов для ремонта (= основная зарплата без доплат);

$C_{\text{опр}}=168$ руб·час – общепроизводственные расходы (= 200% от основной зарплаты);

$C_{\text{охр}}=67,2$ руб·час – общехозяйственные расходы (= 80% от основной зарплаты).

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}} = 96 + 84 + 168 + 67,2 = 415,2 \text{ руб / час}$$

Для определения составляющих затрат на ППР необходимо установить периодичность ремонтного цикла, межремонтного периода, и трудоемкость работ по ППР. По трудоемкости работ определяется зарплата энергоперсонала.

Нормы трудоемкости ремонта электропривода представлены в таблице № 18

Таблица 18

Мощность, кВт	Норма трудоемкости, чел-ч		
	Капитального ремонта без перемотки обмоток	Текущего ремонта	Технического обслуживания
55-165	42	15	9

Затраты на ППР электропривода представлены в таблице № 19

Таблица 19

	Норма трудоемкости, чел-ч	Периодичность	Затраты на ППР электропривода в час	Затраты на ППР электропривода
Капитального ремонта без перемотки обмоток	42	Раз в 2 года	415.2	17438.4
Текущего ремонта	15	Раз в 6 месяцев	415.2	6228
Технического обслуживания	9	Раз в месяц	415.2	3736.8

В данной таблице рассчитаны затраты необходимые на планово-предупредительные работы, которые способствуют продлению эксплуатации данного электропривода.

Затраты на ППР электропривода в год представлены в таблице № 20

Таблица 21

	Затраты на ППР электропривода в год
Капитального ремонта без перемотки обмоток	8719.2
Текущего ремонта	12456
Технического обслуживания	44841.6
Итого	66016.8

В данной таблице рассчитаны затраты на планово-предупредительные работы, которые были произведены, исходя из расчетов ППР электропривода в год.

В данной части ВКР был экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем, был проведен расчет коэффициента научно - технического уровня, который оказался довольно высоким, что указывает на высокий потенциал данного проекта. Так же было выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода. Были рассчитаны издержки на ремонтно–эксплуатационное обслуживание электроприводов, т.е. затраты на планово–предупредительные работы. Благодаря частотному преобразователю с асинхронным двигателем мы имеем высокую точность регулирования, плавный пуск двигателя, что значительно уменьшает его износ, а значит и затраты на его ремонт, а также экономия электроэнергии в случае переменной нагрузки, повышенный ресурс оборудования. Окупаемость данного оборудования происходит в течении 1-2 лет, тогда как работа оборудования гарантирована в течении минимум 10 лет, при условии соблюдения норм технического обслуживания оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе произведено исследование между скалярным и векторным управлением методом моделирования на ЭВМ и вследствие этого можно сказать, что при скалярном управлении возникают провалы скорости двигателя и затем восстановление её после исчезновения перегрузки. Процессы торможения и разгона двигателя в этом случае уже практически не управляются при максимальном грузе, особенно при его подъеме на определенную высоту.

Значительные пульсации тока, момента и особенно скорости, не позволяют говорить о плавных характеристиках процесса.

Поэтому для данной работы скалярное управление не удовлетворяет нашим условиям.

Векторное управление по отношению к скалярному в данном случае имеет значительные преимущества, что доказали исследования.

Преимущества векторного метода управления асинхронным двигателем:

- Высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала;
- Осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно;
- Установлен датчик скорости, с его помощью достигли номинального значения момента на валу даже при нулевом значении скорости;
- Быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода,
- Высокий уровень КПД двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

Вследствие всего был разработан частотно регулируемый электропривод мостового крана грузоподъемностью 20 тонн с векторным управлением в соответствии с требованиями технического задания.

Удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – повторно-кратковременный.
2. Электропривод реверсивный, диапазон регулирования $D = 1:20$.
3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.
4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с перспективой интеграции в систему управления более высокого уровня.
5. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP21.
6. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°С и относительной влажности не более 80% .
7. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.
8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\%$ В, 50 ± 1 Гц.

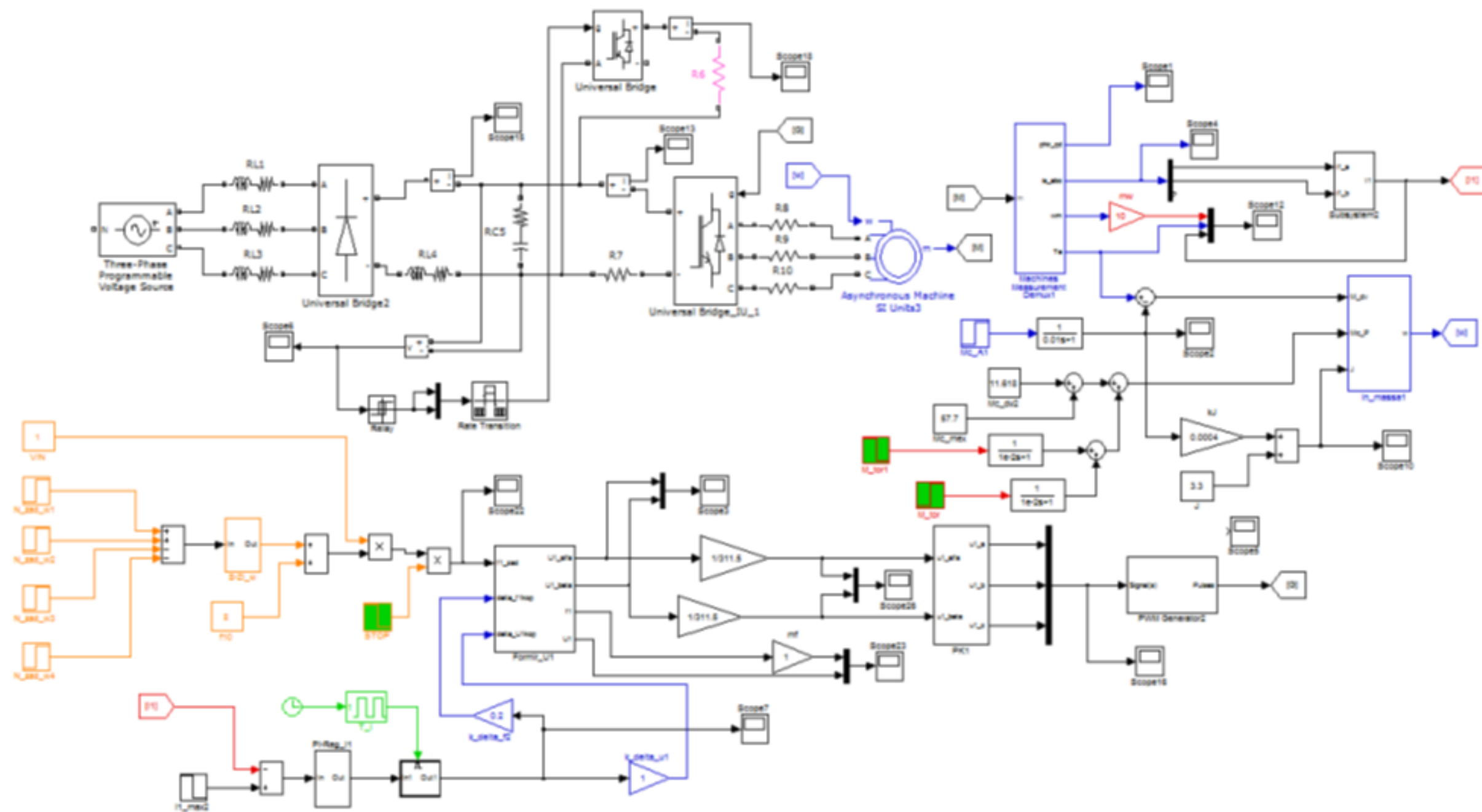
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 12.3.047-98 "ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования.
2. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. СП 2.13130.2009
3. Онищенко Г.Б., Ред. Автоматизированный электропривод промышленных установок: Уч. пособие для ВУЗов, М.: Энергоатомиздат, 2001
4. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах.– Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. 172 с.
5. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами.-Л.: Энергоатомиздат, 1982
6. Ключев В.И. Теория Электропривода – М.: Энергоатомиздат, 1985
7. Кабели и провода / под ред. Привезенцева В.А. – М.: Машиностроение, 1964
8. Справочник по электрическим машинам. Под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. Т.1. – М.:Энергоатомиздат, 1988.
9. СНиП 2.01.02–85 - Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений, Стройиздат, 1976
10. ГОСТ 12.1.038-82 - **Предельно допустимые** значения напряжений прикосновения и токов.
11. Егорин В.Н. Расчёт опасности поражения электрическим током. – Томск: изд-во ТПИ, 1969
12. ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ - Требования безопасности к производственным процессам.
13. **ГОСТ [Р 22.0.02-94](#)** - Безопасность в чрезвычайных ситуациях
14. Управление проектами. / под.ред. Шапиро С.И. – С-Петербург, 1993

15. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч 5. Применение программы DORA-FUZZY для имитационного моделирования автоматизированных электроприводов. - издание 2-е переработанное и дополненное - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 180 с
16. Правила по охране труда на предприятиях- ПОТ РО 14000-001-98
17. Определение в отношении опасности поражения людей электрическим током - ПУЭ (6-е изд.) в разд. 1.1.13
18. Охрана природы. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями - ГОСТ 17.23.02-78
19. СанПиН 2.2.4.548-96 - Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
20. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч 6. Механическая система электропривода. - издание 2-е переработанное и дополненное - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 148 с
21. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 152 с.
22. Яуре А. Г. Певзнер Е. М. Крановый электропривод: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 334 с.
23. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Ч. 1. Асинхронный электродвигатель: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2005. - 136 с.
24. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7 Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. - 164 с.
25. Системы управления электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. - 152 с.

26. Ласточкин В.М., Шамрай Ф.А. Методика по силовому расчету частотно-регулируемых электроприводов крановых механизмов. - техническая коллекция Schneider Electric, 2007 г., 19 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

